



## **Otimização Energética de Bairro Ribeirinho em Setúbal**

Mariana Ferreira da Graça

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça (FCUL)



## Agradecimentos

À engenheira Filipa Menezes, um agradecimento pela oportunidade de desenvolver este trabalho, por me ter recebido com entusiasmo e simpatia. Ao professor Doutor Guilherme Carrilho, por ter aceite esta tese e pela orientação dada durante a sua realização.

À professora Doutora Marta Panão pelos esclarecimentos e ensinamentos que me transmitiu e pela sua disponibilidade.

Ao Rafael Palma, um especial agradecimento, por toda a paciência, explicações e disponibilidade durante a realização desta dissertação, sem ele não teria conseguido concluir.

À Susana Graça por me ter ajudado e apoiado nesta etapa final.

Aos meus pais, o meu maior agradecimento, porque sem eles não tinha conseguido chegar aqui. Obrigada por nunca duvidarem de mim, mesmo quando eu duvido de mim mesma, principalmente nesta etapa final! À minha família, em especial ao meu padrinho Zé, por sempre me apoiarem e ajudarem em tudo o que vos era possível.

Por último, mas não menos importante, um obrigado aos meus amigos por todos os momentos incríveis que vivemos juntos, por me ouvirem e aturarem ao longo destes anos.



## Resumo

O ser humano, desde o início dos tempos, sentiu a necessidade de encontrar locais para se proteger das condições climáticas e de outros seres vivos. Durante milhares de anos fê-lo em cavernas. Hoje em dia, esse lugar foi tomado pelos edifícios. Em Portugal, o consumo energético gerado pelos edifícios ronda os 30% do consumo total, sendo que através da aplicação de medidas de eficiência energética num edifício poderá existir uma redução de 50%.

Nesta dissertação o objetivo será a avaliação do desempenho térmico de uma habitação e a análise de medidas de forma a melhorar o seu desempenho energético. Para que seja possível avaliar o desempenho energético foram utilizados dois métodos, o REH e o EnergyPlus.

Ao comparar os dois métodos em estudo é possível verificar que existem diferenças nas necessidades de climatização obtidas. Essa disparidade de valores deve-se às diferentes abordagens dos dois métodos.

Numa primeira simulação da habitação, sem nenhuma alteração, utilizando o método REH, obteve-se uma Classe Energética B, com uma necessidade anual de energia útil de aquecimento de 33,85 kWh/m<sup>2</sup>.ano e de arrefecimento de 14,13 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Com a implementação de medidas de melhoria, foi possível aumentar a Classe Energética para A+, devido, sobretudo, à contribuição de energia renovável proveniente dos painéis fotovoltaicos.

Com a análise dos valores inicialmente conseguidos no EnergyPlus obteve-se uma Classe Energética B, com uma necessidade anual de energia útil de aquecimento de 3,65 kWh/m<sup>2</sup>.ano e de arrefecimento de 36,48 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Com a implementação de todas as medidas de melhoria, foi possível aumentar a Classe Energética para A+, reduzindo a energia final em 1,37 MWh/ano.

Atendendo ao que foi apresentado na análise económica, o cenário mais vantajoso para a habitação, será o sistema de autoconsumo com venda à rede da energia excedente, composto por 22 painéis fotovoltaicos (7,15 kWh), com um custo de aproximadamente 35€.

**Palavras-Chave:** Certificação Energética, EnergyPlus, REH, Produção Fotovoltaica, PVsyst.

# Abstract

Human beings, since the beginning of time, felt the need to find places to protect themselves from the weather and other living beings. For thousands of years he lived in caves. Nowadays, that place has been taken over by buildings. In Portugal, the energy consumption generated by buildings is around 30% of total consumption, and through the application of energy efficiency measures in a building there may be a 50% reduction.

In this dissertation the objective will be the evaluation of the thermal performance of a home and the analysis of measures in order to improve its energy performance. In order to assess the energy performance, two methods were used, REH and EnergyPlus.

When comparing the two methods under study, it is possible to verify that there are differences in the air conditioning needs obtained. This disparity in values is due to the different approaches of the two methods.

In a first simulation of the home, without any changes, using the REH method, an Energy Class B was obtained, with an annual need for useful heating energy of 33.85 kWh/m<sup>2</sup>.year and cooling of 14.13 kWh/m<sup>2</sup>.year. With the implementation of improvement measures, it was possible to increase the Energy Class to A+, mainly due to the contribution of renewable energy from photovoltaic panels.

With the analysis of the values initially obtained in EnergyPlus, an Energy Class B was obtained, with an annual need for useful heating energy of 3.65 kWh/m<sup>2</sup>.year and cooling of 36.48 kWh/m<sup>2</sup>.year. With the implementation of all improvement measures, it was possible to increase the Energy Class to A+, reducing the final energy by 1.37 MWh/year.

Taking into account what was presented in the economic analysis, the most advantageous scenario for home will be the self-consumption system with the sale of surplus energy, consisting of 22 photovoltaic panels (7.15 kWh), with a cost of around 35€.

**Keywords:** Energy Certification, EnergyPlus, REH, Photovoltaic Production, PVsyst.

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract .....	iv
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas.....	ix
Simbologia .....	x
Abreviaturas .....	xii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Motivação.....	1
1.2. Objetivos e metodologias .....	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
Capítulo 2 – Estado da arte .....	5
2.1. Dependência Energética.....	5
2.2. Legislação de Edifícios .....	7
2.3. Metas Nacionais (ENE 2020).....	8
2.4. Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) .....	8
2.5. Certificação Energética de Edifícios .....	9
2.6. REH.....	10
2.7. Simulação Dinâmica Computacional (EnergyPlus) .....	13
Capítulo 3 – Descrição do Caso de Estudo .....	15
3.1. Localização e Dados Climáticos .....	15
3.2. Habitação.....	17
3.3. Materiais e soluções construtivas.....	20
3.3.1. Paredes exteriores.....	20
3.3.2. Paredes interiores .....	21
3.3.3. Pavimento.....	22
3.3.4. Cobertura.....	23
3.3.5. Vãos envidraçados .....	23
3.4. Hábitos de Utilização .....	24
3.4.1. Ocupação.....	24
3.4.1. Iluminação.....	25
3.4.1. Equipamentos .....	27
3.5. Sistemas de Climatização.....	28

Capítulo 4 – REH .....	29
4.1. Introdução de Dados .....	29
4.1.1. Identificação Geográfica do Edifício .....	29
4.1.2. Levantamento Dimensional .....	29
4.1.3. Envolvente exterior .....	30
4.1.4. Envolvente em contacto com o solo.....	32
4.1.5. Envolvente Interior.....	33
4.1.6. Ventilação .....	34
4.1.7. Sistemas Técnicos .....	34
4.2. Análise de Resultados .....	35
Capítulo 5 – Simulação Dinâmica Computacional .....	36
5.1. SketchUp.....	36
5.2. EnergyPlus .....	37
5.3. Análise de Resultados .....	41
Capítulo 6 – Comparação de resultados – REH vs EnergyPlus.....	47
Capítulo 7 – Medidas de melhoria .....	48
7.1. Ventilação Natural .....	48
7.2. Estores.....	48
7.3. Palas nas janelas.....	49
7.4. Painéis Fotovoltaicos .....	50
7.5. Análise de Resultados .....	54
Capítulo 8 - Análise económica .....	61
8.1. Primeiro cenário .....	61
8.2. Segundo cenário .....	62
8.3. Terceiro cenário .....	63
Capítulo 9 – Conclusão .....	65
Referências Bibliográficas .....	66



# Índice de Figuras

Figura 1.1.1: Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas e do destino da habitação familiar no total de obras de reabilitação (2012 e 2017). Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas. [2] .....	1
Figura 1.1.2: Evolução dos edifícios concluídos de 2012 até 2017. Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas. [2] .....	2
Figura 1.1.3: Distribuição do consumo de energia por tipo de utilização. Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010) [3].....	2
Figura 2.1.1: Evolução da Dependência Energética de Portugal. [4] .....	5
Figura 2.1.2: Dependência Energética na UE-28 em 2016. Fonte: Eurostat. [4].....	6
Figura 2.1.3: Divisão do Consumo Total Final por setor de atividade (2016). [4] .....	6
Figura 2.2.1: Evolução da legislação em Portugal. Fonte: ADENE. [8] .....	7
Figura 2.5.1: Distribuição da classe energética de edifícios novos e existentes, Edifícios Existentes e Edifícios Novos. Fonte: Certificar é Valorizar - Certificação Energética dos Edifícios. [11] .....	10
Figura 2.7.1: Etapas associadas à simulação de um modelo em EnergyPlus. [14] .....	14
Figura 3.1.1: Limites das NUTS III 2013. Localização da habitação. Fonte: Instituto Nacional de Estatísticas.....	15
Figura 3.1.2: Dados estatísticos do clima e do ano meteorológico. Fonte: Climas-SCE.....	16
Figura 3.2.1: Habitação antes da reabilitação. Fonte: Google Maps. ....	17
Figura 3.2.2: Habitação depois da reabilitação. ....	18
Figura 3.2.3: Vista superior da habitação.....	18
Figura 3.2.4: Planta do piso térreo. ....	19
Figura 3.2.5: Planta do primeiro andar.....	19
Figura 3.4.1: Horários de ocupação para os Quartos, durante a semana e para os restantes dias. ....	24
Figura 3.4.2: Horários de ocupação para a Cozinha, durante a semana e para os restantes dias. ....	25
Figura 3.4.3: Horários de ocupação para a Sala, durante a semana e para os restantes dias. ....	25
Figura 3.4.4: Horários de Iluminação para o Quarto, durante a semana e para os restantes dias. ....	26
Figura 3.4.5: Horários de Iluminação para a Cozinha, durante a semana e para os restantes dias. ....	26
Figura 3.4.6: Horários de Iluminação para a Sala, durante a semana e para os restantes dias. ....	27
Figura 4.1.1: Cálculo do ângulo correspondente às obstruções horizontais. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013.....	32
Figura 5.1.1: Modelo da habitação criado utilizando o SketchUp.....	36
Figura 5.1.2: Representação dos edifício e obstruções da envolvente.....	37
Figura 5.2.1: Interface do EnergyPlus.....	37
Figura 5.2.2: Temperatura do solo. ....	38
Figura 5.2.3: Horários definidos. ....	38
Figura 5.2.4: Materiais. ....	38
Figura 5.2.5: Caracterização do vidro da janela, Glazing. ....	39
Figura 5.2.6: Caracterização do gás da caixa-de-ar da janela, Gas.....	39
Figura 5.2.7: Identificação dos vários componentes.....	39
Figura 5.2.8: Definição do Input pessoas.....	40
Figura 5.2.9: Definição do Input iluminação. ....	40
Figura 5.2.10: Definição do Input equipamento. ....	40
Figura 5.2.11: Infiltração de ar.....	40
Figura 5.2.12: Termostato. ....	41
Figura 5.2.13: HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem. ....	41

Figura 5.3.1: Percentagem de conforto sem climatização e das necessidades de arrefecimento e aquecimento de cada divisão.....	42
Figura 5.3.2: Temperatura média diária numa semana representativa de inverno.....	42
Figura 5.3.3: Temperatura média diária numa semana representativa de verão.....	43
Figura 5.3.4: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação, segunda simulação.....	44
Figura 5.3.5: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação, terceira simulação.....	44
Figura 5.3.6: Distribuição da energia pelos diversos contribuidores, terceira simulação.....	46
Figura 7.1.1: ZoneVentilation:WindandStackOpenArea.....	48
Figura 7.2.1: WindowMaterial:Shade.....	49
Figura 7.2.2: WindowProperty:ShadingControl.....	49
Figura 7.3.1: Representação das palas introduzidas nas janelas.....	50
Figura 7.4.1: Representação dos painéis fotovoltaicos introduzidos no terraço.....	51
Figura 7.4.2: Generator:Photovoltaic.....	51
Figura 7.4.3: PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode.....	52
Figura 7.4.4: ElectricLoadCenter:Generators.....	52
Figura 7.4.5: ElectricLoadCenter:Inverter:Simple.....	53
Figura 7.4.6: ElectricLoadCenter:Distribution.....	53
Figura 7.4.7: Representação das obstruções existentes no PVsyst.....	53
Figura 7.5.1: Percentagem de conforto sem climatização e das necessidades de arrefecimento e aquecimento de cada divisão com a aplicação das medidas de melhoria.....	55
Figura 7.5.2: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação com a aplicação das medidas de melhoria.....	55
Figura 7.5.3: Distribuição da energia pelos diversos contribuidores após a aplicação das medidas de melhoria.....	56
Figura 7.5.4: Consumo vs. Produção, EnergyPlus.....	56
Figura 7.5.5: Produção dos painéis fotovoltaicos, PVsyst.....	57
Figura 7.5.6: Cálculo do ângulo correspondente às obstruções palas horizontais. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013.....	57
Figura 7.5.7: Comportamento das baterias em relação ao consumo e à produção da habitação ao longo de dois anos.....	60

# Índice de Tabelas

Tabela 2.4.1: Tipologia de Projetos. Dotação e Taxas de Comparticipação. [10].....	9
Tabela 2.6.1: Classes energéticas segundo o valor $R_{NT}$ . .....	13
Tabela 3.1.1: Temperaturas médias diárias. Fonte: PVGIS. ....	15
Tabela 3.3.1: Resistências Térmicas Superficiais. [15] .....	20
Tabela 3.3.2: Materiais da parede em contacto com edifícios adjacentes e suas características. [16] ..	20
Tabela 3.3.3: Materiais da parede em contacto com o exterior e suas características. [16] .....	21
Tabela 3.3.4: Materiais da parede em contacto com a garagem e suas características. [16] .....	21
Tabela 3.3.5: Materiais das paredes interiores e suas características. [16] .....	22
Tabela 3.3.6: Materiais dos pavimentos térreos e suas características. [16] .....	22
Tabela 3.3.7: Materiais dos pavimentos intermédio e suas características. [16] .....	23
Tabela 3.4.1: Ganhos gerados pela atividade realizada. [17] .....	24
Tabela 3.4.2: Valores da densidade de potência de iluminação necessária. [17] .....	26
Tabela 3.4.3: Consumo dos equipamentos utilizados por uma família ecológica. ....	27
Tabela 3.5.1: Características do sistema termodinâmico para produção de AQS. [19] .....	28
Tabela 4.1.1: Dados relativos à localização geográfica. ....	29
Tabela 4.1.2: Caracterização geral da habitação. ....	29
Tabela 4.1.3: Caracterização da envolvente exterior segundo a sua orientação, área e coeficiente de transmissão térmica. ....	30
Tabela 4.1.4: Fração Envidraçada .....	31
Tabela 4.1.5: Orientações dos vãos envidraçados e respetiva área. ....	31
Tabela 4.1.6: Caracterização da envolvente em contacto com o solo segundo a sua resistência térmica, área, perímetro e espessura. ....	32
Tabela 4.1.7: Pontes térmicas lineares exteriores e respetivos comprimentos. ....	33
Tabela 4.1.8: Caracterização da envolvente interior segundo a sua área e coeficiente de transmissão térmica. ....	33
Tabela 4.1.9: Pontes térmicas lineares interiores e respetivos comprimentos. ....	33
Tabela 4.1.10: Sistema Técnico. ....	34
Tabela 4.2.1: Indicadores energéticos obtidas a partir do método REH. ....	35
Tabela 4.2.2: Indicadores de desempenho obtidas a partir do método REH. ....	35
Tabela 5.3.1: Energia primária, segunda simulação. ....	44
Tabela 5.3.2: Energia primária tendo em conta a ocupação, terceira simulação. ....	45
Tabela 5.3.3: Características do sistema de AC. [20] .....	45
Tabela 5.3.1: Comparação dos valores de energia primária obtidos através do EnergyPlus e do REH.	47
Tabela 7.4.1: Características dos painéis fotovoltaicos. [23] .....	50
Tabela 7.5.1: Efeitos das medidas desenvolvidas. ....	54
Tabela 7.5.2: Comparação dos valores de energia primária obtidos através do EnergyPlus e do REH, após aplicar a contribuição energética. ....	58
Tabela 7.5.3: Características de uma bateria. ....	59
Tabela 7.6.1: Custos de aquisição de energia na rede nacional. ....	61
Tabela 7.6.2: Custos de aquisição de energia com autoconsumo e venda, 22 painéis. ....	62
Tabela 7.6.3: Custos de aquisição de energia com autoconsumo e venda, 10 painéis. ....	63
Tabela 7.6.4: Custos de aquisição de energia com a instalação dos painéis e das baterias. ....	63

## Simbologia

$A_p$	Área interior útil de pavimento [m <sup>2</sup> ]
$C_{pala}$	Comprimento da pala [m]
$C_{janela}$	Metade da altura da janela [m]
$E_{ren,p}$	Energia renovável produzida, consumida [kWh/ano]
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para AQS
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento
$F_g$	Fração efetiva de envidraçado
$F_{pu}$	Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh <sub>EP</sub> /kWh]
$H_f$	Número de horas de funcionamento do ventilador
$H_{obstrução}$	Altura da obstrução [m]
$H_{pm}$	Altura do ponto médio do vão envidraçado [m]
LUX	Intensidade de iluminação [lm/m <sup>2</sup> ]
$M_{AQS}$	Consumo médio diário de referência [l]
$N_{ic}$	Necessidades anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{tc}$	Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano]
$N_t$	Valor limite das necessidades nominais de energia primária [kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano]
$N_{vc}$	Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$n_d$	Número anual de dias de consumo de AQS
$Q_a$	Necessidades de energia útil para AQS [kWh/ano]
$Q_{gu,i}$	Ganhos térmicos úteis [kWh]
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh]
$Q_{tr,i}$	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [kWh]
$Q_{ve,i}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh]
$R_{Nt}$	Rácio Energético
$R_t$	Resistência térmica total [m <sup>2</sup> K/W]
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior [m <sup>2</sup> K/W]

$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]
$U$	Coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]
$V_f$	Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
$W$	Distância horizontal entre a habitação e a obstrução [m]
$W_{vm}$	Necessidades de energia elétrica para ventiladores [kWh/ano]
$\alpha$	Ângulo de sombreamento [ $^\circ$ ]
$\eta_k$	Eficiência do sistema
$\eta_{tot}$	Rendimento total de funcionamento do ventilador
$\eta_v$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento
$\Delta P$	Diferença de pressão total do ventilador
$\Delta T$	Diferença de temperatura

## Abreviaturas

<i>AC</i>	Corrente Alternada
<i>AQS</i>	Águas Quentes Sanitárias
<i>AVAC</i>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<i>BLAST</i>	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
<i>COP</i>	Coefficiente de Desempenho ( <i>Coefficient of Energy</i> )
<i>DC</i>	Corrente Contínua
<i>DGEG</i>	Direção Geral de Energia e Geologia
<i>DOE</i>	<i>Department of Energy</i>
<i>EER</i>	Coefficiente de Eficiência Energética ( <i>Energy Efficiency Ratio</i> )
<i>ENE 2020</i>	Estratégia Nacional para a Energia
<i>ENU</i>	Espaço não-útil
<i>EPBD</i>	Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios
<i>IteCons</i>	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade
<i>LED</i>	Díodo emissor de luz ( <i>Light Emitting Diode</i> )
<i>LNEC</i>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>NUTS</i>	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
<i>OMIE</i>	Operador de Mercado Elétrico
<i>PNEC 2030</i>	Plano Nacional Energia e Clima
<i>PVC</i>	Policloreto de Vinila ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )
<i>PVGIS</i>	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
<i>PVsyst</i>	Photovoltaic Systems Software
<i>RCCTE</i>	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
<i>RECS</i>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
<i>REH</i>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
<i>RNC 2050</i>	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
<i>Rph</i>	Renovações de Ar por Hora
<i>RSECE</i>	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

<i>UE</i>	União Europeia
<i>UPAC</i>	Unidade de Produção para Autoconsumo
<i>SCE</i>	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios





# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1. Enquadramento e Motivação

O ser humano, desde o início dos tempos, sentiu a necessidade de encontrar locais para se proteger das condições climáticas e de outros seres vivos. Durante milhares de anos fê-lo em cavernas. Hoje em dia, esse lugar foi tomado pelos edifícios. Com eles é possível a modificação do ambiente exterior, o que gera consumo de energia quer seja para aquecimento/ arrefecimento, ventilação, iluminação, entre outros.

No panorama Europeu, o consumo energético nos edifícios ronda cerca de 40% do consumo total energético, sendo 36% proveniente de gás natural e 32% de eletricidade, onde a maioria do consumo ocorre devido à necessidade de aquecimento e arrefecimento.

Em Portugal, o consumo energético nos edifícios é relativamente inferior, rondando os 30% do consumo total, onde 41% provem de eletricidade e 10% de gás natural. Através da reabilitação e aplicação de medidas de eficiência energética num edifício é estimado que seja possível uma redução de mais de 50% do consumo energético. [1]

As obras para a reabilitação de edifícios podem dividir-se em três tipos: obras de reconstrução, obras de alteração e obras de amplificação. Atualmente as obras de reabilitação têm vindo a ganhar peso em relação às obras de nova construção sendo que, entre 2012 e 2017, ocorreu um aumento de 1,5% em obras de reabilitação, onde 66,3% corresponde a obras de reabilitação em habitações familiares, como se pode observar na Figura 1.1.1.



Figura 1.1.1: Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas e do destino da habitação familiar no total de obras de reabilitação (2012 e 2017). Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas. [2]

Analisando os dados de 2017 referente aos edifícios concluídos, foi possível verificar que, a Área Metropolitana de Lisboa foi a que obteve maior número com cerca de 26,9%, como é possível verificar na Figura 1.1.2.

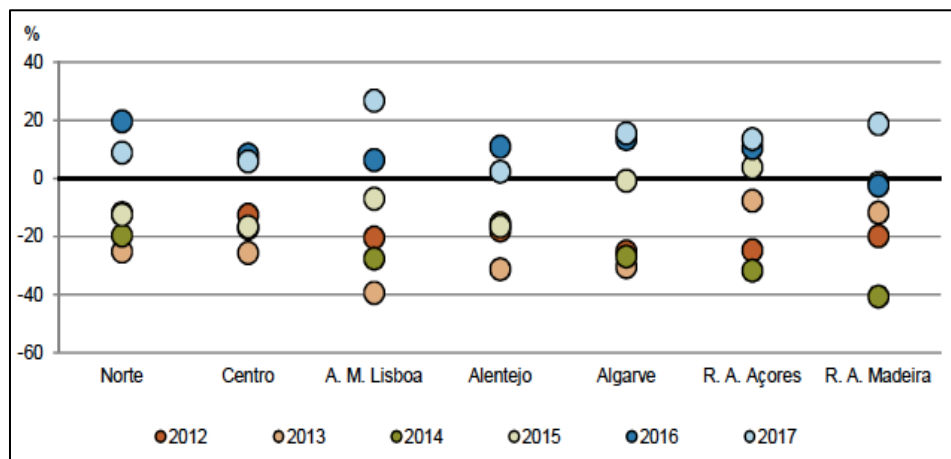


Figura 1.1.2: Evolução dos edifícios concluídos de 2012 até 2017. Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas. [2]

A cidade de Setúbal tem vindo a conhecer um enorme crescimento imobiliário, principalmente na zona ribeirinha, onde várias moradias e pequenos prédios do bairro em estudo têm sido adquiridos por investidores para reabilitação e consequente venda ao consumidor final.

Existem várias medidas que podem ser aplicadas para a reabilitação de um edifício de modo a torná-lo mais eficiente e, consequentemente, melhorar os gastos energéticos, sendo possível verificar na Figura 1.1.3 a distribuição do consumo de energia num edifício atualmente em Portugal. [3]

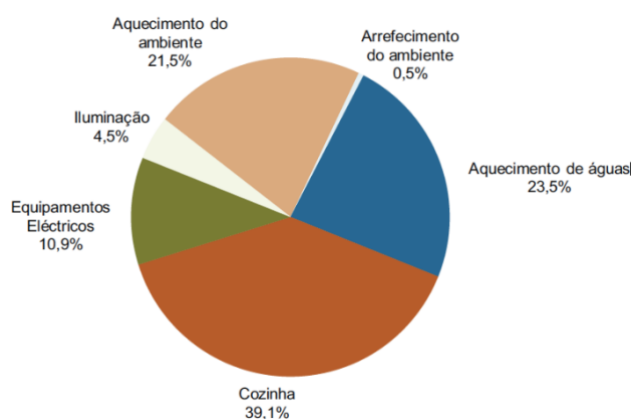


Figura 1.1.3: Distribuição do consumo de energia por tipo de utilização. Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010) [3]

Essas medidas podem ser a nível do melhoramento da envolvente do edifício, como a alteração do isolamento, do tipo de vidros ou da sua caixilharia, ou a nível do melhoramento do equipamento, como a iluminação, os equipamentos elétricos ou do sistema de aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS), que pode provir de Bombas de Calor ou Coletores Solares Térmicos. Estas medidas de eficiência energética encontram-se atualmente legisladas e possuem requisitos a serem cumpridos.

Para o estudo das medidas a implementar, existe uma ferramenta muito útil, a simulação, com a qual é possível perceber quais as melhorias que surgem com a sua implementação, sobretudo na fase de projeto, permitindo perceber qual o comportamento térmico e energético de um edifício. A sua utilização permite ainda, prever o consumo energético, as temperaturas interiores, entre outros, o que irá permitir alterações ainda na fase de projeto de modo a tornar o edifício mais eficiente.

## 1.2. Objetivos e metodologias

A presente dissertação tem como objetivo a avaliação do desempenho térmico de uma habitação e análise de soluções de alta eficiência energética de modo a melhorar o desempenho de um bairro em Setúbal.

A metodologia a seguir, ao longo deste trabalho, irá refletir sobre os seguintes objetivos:

- Em primeiro lugar: irá efetuar-se uma análise ao estado de arte da legislação de edifícios e ao programa de simulação.
- Em seguida: será realizada uma recolha de toda a informação necessária, como as características dos equipamentos, os materiais utilizados na construção e os perfis de utilização relacionados a uma habitação residencial.
- Posteriormente: serão analisadas diversas soluções de modo a obter uma melhoria da Eficiência Energética do edifício de modo a reduzir o consumo final de energia elétrica, sendo ainda analisada a implementação de um sistema de produção de energia renovável.
- Com os dados obtidos, será possível a realização de uma simulação do edifício recorrendo aos programas de simulação EnergyPlus e ao REH, podendo-se assim, avaliar as necessidades energéticas do edifício para a sua climatização e o seu desempenho energético.
- Por fim, com a aplicação das medidas analisadas será possível verificar a sua influência no consumo e desempenho energético do edifício, sendo efetuado ainda um estudo sobre o custo de implementação e a sua manutenção.

## 1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 9 capítulos.

- O **Capítulo 1**, que abrange uma introdução ao setor energético dos edifícios, onde é abordada a distribuição do consumo de energia e medidas que poderão ser implementadas de forma a tornar os edifícios mais eficientes.
- O **Capítulo 2**, onde será introduzido o tema de certificação de edifícios, sendo abordado a dependência energética, os consumos dos vários setores energéticos e a evolução da legislação de edifícios em Portugal e na Europa. Ainda será abordado a metodologia utilizada pelos programas de simulação REH e EnergyPlus de modo a ser possível avaliar um edifício.
- O **Capítulo 3**, onde é apresentado o caso de estudo, onde se caracteriza a sua localização, a sua geometria, as soluções construtivas utilizadas e os horários e consumos considerados.
- O **Capítulo 4**, onde será demonstrada a metodologia utilizada no método REH para a obtenção de resultados, sendo ainda efetuada uma análise desses valores.

- O **Capítulo 5**, onde será demonstrada a metodologia utilizada na simulação dinâmica com a utilização do EnergyPlus, com os valores obtidos realizou-se uma primeira análise.
- O **Capítulo 6**, onde será apresentada uma comparação entre os dois programas de simulação utilizados.
- O **Capítulo 7**, onde serão estudadas medidas de modo a tornar a habitação mais eficiente e o seu impacto na habitação.
- O **Capítulo 8**, onde será efetuada uma análise económica de modo a se perceber qual o cenário melhor, de entre três analisados.
- E por fim, o **Capítulo 9** onde serão apresentadas as conclusões finais dos resultados obtidos.

## Capítulo 2 – Estado da arte

### 2.1. Dependência Energética

Uma vez que não existem fontes de energia fósseis no nosso país, Portugal apresenta uma elevada dependência energética, entre 80 a 90% das suas necessidades energéticas. Para reduzir essa dependência tem-se vindo a apostar, cada vez mais, nas energias renováveis e na eficiência energética, tendo-se conseguido obter resultados inferiores a 80%. Contudo, sendo que a maior fonte de energia renovável, no nosso país, é a energia hídrica, verifica-se que, nos anos mais secos, existe maior dependência energética. Observando a Figura 2.1.1 é possível atestar essa evolução entre 1996 e 2016, onde o ano mais favorável foi 2014, que terá tido uma grande produção renovável, em particular de energia hídrica e eólica, reduzindo assim, a dependência da importação de energias fósseis.

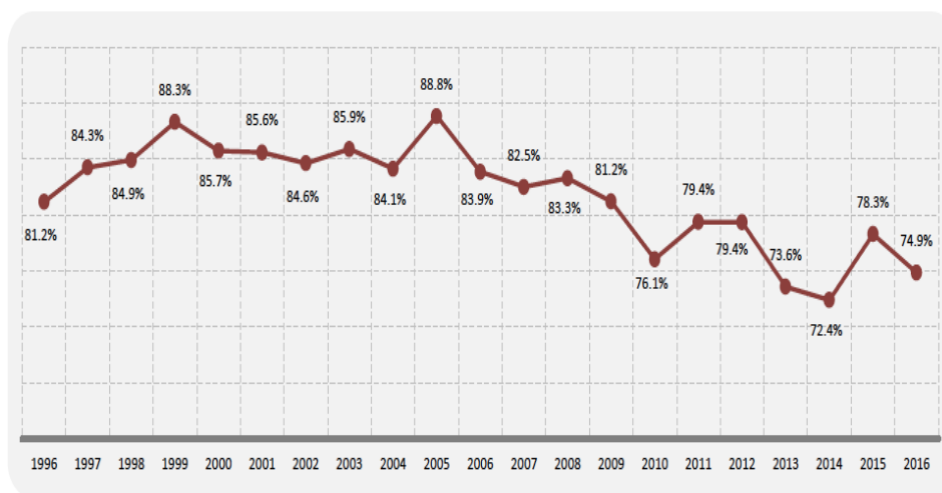


Figura 2.1.1: Evolução da Dependência Energética de Portugal. [4]

Comparando a dependência energética do nosso país com os restantes países da União Europeia, em 2016, é possível verificar que Portugal se encontra em 8º lugar entre os países mais dependentes de importação energética, estando cerca de 20% acima do valor médio. O país mais dependente em 2016 foi Malta, que se encontra totalmente dependente da importação, pelo contrário o país, menos dependente, foi Estónia com um valor abaixo dos 10%, como se pode observar na Figura 2.1.2.

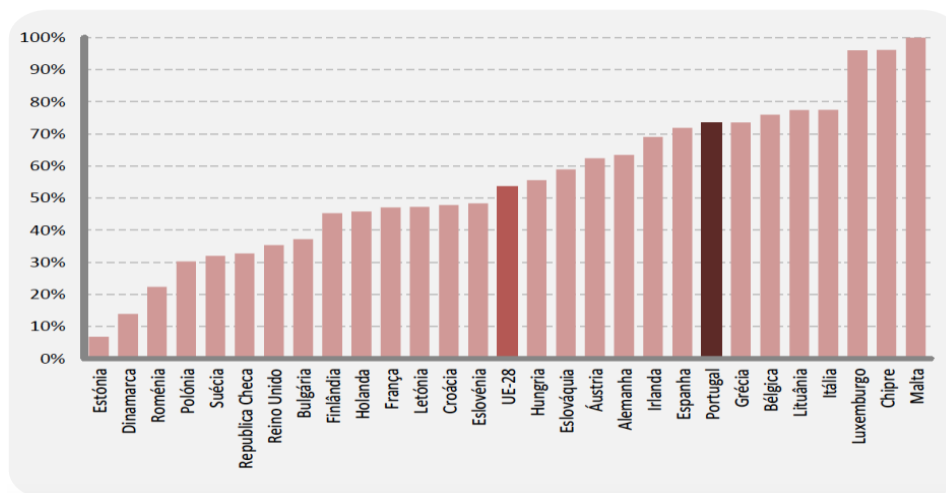


Figura 2.1.2: Dependência Energética na UE-28 em 2016. Fonte: Eurostat. [4]

Analisando o consumo total final, a nível setorial, é possível verificar que são os transportes a principal fonte de gastos energéticos, seguindo-se pela indústria e pelos edifícios (domésticos e de serviço), como é possível observar na Figura 2.1.3.

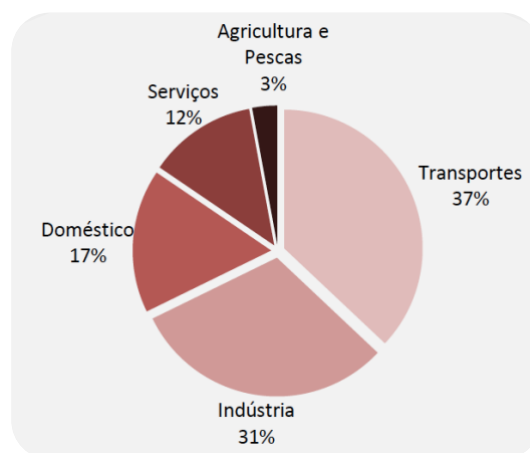


Figura 2.1.3: Divisão do Consumo Total Final por setor de atividade (2016). [4]

De modo a ser possível um controlo dos valores de consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> foram criadas diversas diretivas e regulamentos que especificam um comportamento mais sustentável para os diversos Estados Membros da UE. Para Portugal, foi criado o SCE, Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, que contém o REH, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, e o RECS, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

## 2.2. Legislação de Edifícios

O nosso país, até 1990, não possuía qualquer regulamentação sobre o comportamento térmico dos edifícios, tendo surgido a primeira legislação com o Decreto-Lei 40/90, a 6 de fevereiro de 1990, com o RCCTE, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Esta regulamentação veio definir requisitos mínimos ao nível do sombreamento de modo a evitar sobreaquecimento no verão, estabelecendo coeficientes máximos de transmissão térmica. [5]

Em 1998, com o Decreto-Lei 118/98 a 7 de maio de 1998, nasceu o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) para colmatar a necessidade de regulamentar a utilização de sistemas de climatização.

Quatro anos mais tarde, surgiu uma diretiva referente ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), a Diretiva Europeia 2002/91/CE. Nesta diretiva foi definida uma metodologia de cálculo para o desempenho energético dos edifícios, determinando os requisitos mínimos para novos edifícios ou edifícios que sofressem grandes renovações, bem como a certificação dos edifícios. [6]

Em Portugal essa diretiva foi adaptada em 2006 pelos Decreto-Lei 78/2006, 79/2006 e 80/2006 que vieram regulamentar o SCE, substituindo o RSECE e o RCCTE, respetivamente.

Em 2010 surgiu uma nova Diretiva Europeia que veio substituir a de 2002, a Diretiva 2010/31/EU. Esta veio melhorar e clarificar alguns pontos menos claros da anterior, bem como reforçar a necessidade dos certificados energéticos de modo a atingir as metas acordados pelos Estados-Membros para 2020. Devido à mesma, Portugal lançou o Decreto-Lei 118/2013 para substituir o SCE, o RSECE e o RCCTE, tendo sido complementado pela Lei 58/2013 e diversas Portarias e Despachos. [7]

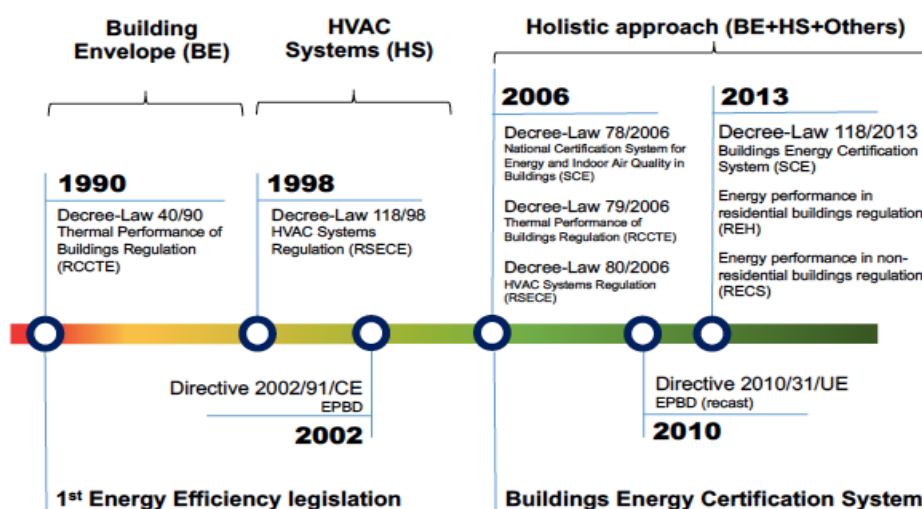


Figura 2.2.1: Evolução da legislação em Portugal. Fonte: ADENE. [8]

### **2.3. Metas Nacionais (ENE 2020)**

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) tem como objetivo, para 2020, a diminuição da dependência energética, apostando, para esse efeito, nas energias renováveis e na eficiência energética. Com essa estratégia pretende-se obter uma redução em 20% no consumo de energia primária a nível Europeu, sendo que, em Portugal, a meta definida é superior, pretendendo-se uma redução de 25%, estando num bom caminho para cumprir essa meta. [4]

Esta estratégia encontra-se dividida em cinco eixos de atuação: [9]

- 1º. Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira: que consiste na dinamização da economia, no desenvolvimento regional – com o objetivo de promover a produção descentralizada, na promoção da independência energética e financeira, e estimulando a concorrência nos mercados de energia;
- 2º. Aposta nas Energias Renováveis: de forma a ser possível obter 31% de toda a energia e 60% da eletricidade de Portugal;
- 3º. Promoção da eficiência energética: consolidando o objetivo de redução de consumo de energia final em 10% até 2015 e 20% em 2020;
- 4º. Garantia de Segurança de abastecimento: obtido através da diversidade do “mix” energético;
- 5º. Sustentabilidade da estratégia energética: promovendo a redução de emissões e a gestão equilibrada dos custos.

### **2.4. Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)**

Em 2016, Portugal assumiu o compromisso de alcançar a neutralidade carbónica até 2050, conforme definido no RNC 2050. De modo a alcançá-la, foi estabelecida uma redução entre os 80% e os 90% das emissões de gases de efeitos de estufa em relação aos registados em 2005. Foi também definida uma trajetória em duas fases. A primeira, até 2030, com o objetivo de diminuir essas emissões entre 45% e 55%. A segunda, com a previsão de uma redução entre os 65% e os 70% até 2040.

O nosso país encontra-se em vias de cumprir os objetivos definidos para 2020, mas já se encontram definidas novas ambições para a década 2021-2030, constantes no PNEC 2030. No novo plano, são estabelecidas metas ambiciosas com o objetivo de obter a descarbonização, de incorporar maior contribuição de energia de fonte renovável, de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, aumentar a eficiência energética, bem como melhorar a segurança energética. Este Plano coloca Portugal como um dos países mais ambiciosos no combate às alterações climáticas.

Assim, e com o objetivo de cumprir o PNEC 2030, foi criado, pelo Fundo Ambiental, o Programa de Apoio a Edifícios mais Sustentáveis que pretende atribuir incentivos de modo a tornar os edifícios energeticamente mais eficiente através da sua reabilitação, com a intensão de reduzir a dependência energética do país. Este programa será levado a cabo durante o ano 2020 e terá continuidade em 2021, e serão elegíveis os edifícios de habitação construídos até ao final do ano de 2006. [10]



Na seguinte tabela está definida o limite máximo da comparticipação suportada pelo Fundo Ambiental para cada projeto apoiado:

Tabela 2.4.1: Tipologia de Projetos. Dotação e Taxas de Comparticipação. [10]

Nº Tipologia	Tipologia de projeto*	Taxa de comparticipação	Limite
1	Janelas eficientes, de classe igual ou superior a "A+"	70%	1 500 €
2	Isolamento térmico, desde que efetuado com ecomateriais ou materiais reciclados	-	-
2.1	Isolamento térmico em coberturas ou pavimentos exteriores e interiores	70%	1 500 €
2.2	Isolamento térmico em paredes exteriores ou interiores	70%	3 000 €
3	Sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento ambiente e de águas quentes sanitárias (AQS) que recorram a energia de fonte renovável, de classe A+ ou superior:	-	-
3.1	Bomba de calor	70%	2 500 €
3.2	Sistema solar térmico	70%	2 500 €
3.3	Caldeiras e recuperadores a biomassa com elevada eficiência)	70%	1 500 €
3.4	Caldeiras elétricas quando acopladas a outros sistemas que recorram a energias renováveis (bombas de calor e painéis solares)	70%	750 €
4	Instalação de painéis fotovoltaicos e outros equipamentos de produção de energia renovável para autoconsumo	70%	2 500 €
5	Intervenções que visem a eficiência hídrica: substituição de equipamentos por equipamentos mais eficientes (torneiras das casas de banho, torneira do lava-loiças; chuveiros, autoclismos, autoclismos com dupla entrada de água (potável e não potável), fluxómetros, redutores de pressão e reguladores de caudal)	70%	500 €
6	Intervenções que promovam a incorporação de biomateriais, materiais reciclados, soluções de base natural, fachadas e coberturas verdes e soluções de arquitetura bioclimática	70%	3 000 €

## 2.5. Certificação Energética de Edifícios

A Certificação Energética de Edifícios tem vindo a ganhar posição, em termos legislativos, desde a introdução do Decreto-Lei 78/2006. A partir de 2013 tornou-se obrigatório incluir o certificado para a venda de um edifício. Entre 2014 e 2018 foram obtidos cerca de 948000 certificados onde, cerca de 85% eram referentes a edifícios residenciais e 15% a edifícios de serviços.

Enquanto que na certificação de edifícios existentes a classe que pode variar entre o A+ e o G (9 classes), na certificação de edifícios novos, com licenciamento de construção após a entrada do SCE, a classe apenas pode variar entre o A+ e o B-. No caso de edifícios sujeitos a grandes intervenções o limite inferior é a classe C.

Observando a Figura 2.5.1 é possível verificar que no caso dos edifícios novos a classe mais comum é a B estando o valor muito próximo da classe A, no caso dos edifícios existentes a classe mais comum é a C.

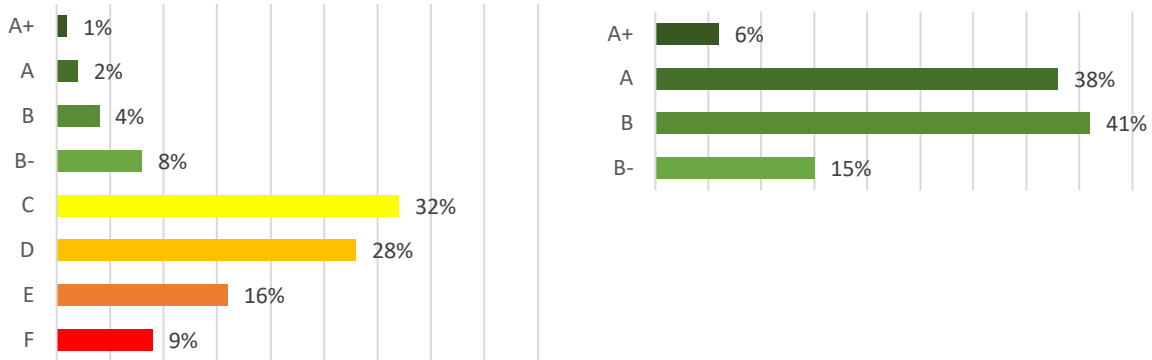


Figura 2.5.1: Distribuição da classe energética de edifícios novos e existentes, Edifícios Existentes e Edifícios Novos. Fonte: Certificar é Valorizar - Certificação Energética dos Edifícios. [11]

## 2.6. REH

Tendo por base o REH, segundo o Despacho nº1579-I/2013, irá ser possível determinada a classe energética atual da habitação através do seguinte rácio: [12]

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2.1)$$

Onde,

$N_{tc}$  – corresponde ao valor das necessidades nominais anuais de energia primária [kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano];

$N_t$  – corresponde ao valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária.

Sendo que para o cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ) é preciso ter em conta os vários usos (como o aquecimento, o arrefecimento, a produção AQS e a ventilação mecânica) e o contributo de energias renováveis através da fórmula:

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (2.2)$$

$$+ \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}$$

Onde,

$N_{ic}$  – corresponde às necessidades anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$f_{i,k}$  – corresponde à parcela das necessidades de energia útil para aquecimento;

$N_{vc}$  – corresponde às necessidades anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$f_{i,k}$  – corresponde à parcela das necessidades de energia útil para aquecimento;

$Q_a$  – corresponde às necessidades de energia útil para a preparação de AQS [kWh/ano];

$f_{a,k}$  – corresponde à parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS;

$\eta_k$  – corresponde à eficiência do sistema, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes energia renovável;

$E_{ren,p}$  – corresponde à energia produzida a partir de fontes de energia renovável, inclui apenas a energia consumida [kWh/ano];

$W_{vm}$  – corresponde às necessidades de energia elétrica para o funcionamento dos ventiladores [kWh/ano];

$A_p$  – corresponde à área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>];

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  – corresponde ao fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh<sub>EP</sub>/kWh];

$\delta$  – toma o valor de 1, exceto para o uso de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício ( $N_{ic}$ ) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad (2.3)$$

Onde,

$Q_{tr,i}$  – corresponde à transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh], dependendo dos graus-dias de aquecimento específico da região e do coeficiente global de transferência de calor;

$Q_{ve,i}$  – corresponde à transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh], ou seja, é a renovação do ar no interior durante a estação de aquecimento, dependendo também dos graus-dias e do coeficiente global de transferência de calor por ventilação;

$Q_{gu,i}$  – corresponde aos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh], dependendo do fator de utilização dos ganhos térmicos e dos ganhos térmicos brutos na estação do aquecimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício ( $N_{vc}$ ) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v)Q_{g,v}}{A_p} \quad (2.4)$$

Onde,

$\eta_v$  – corresponde ao fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$  – corresponde aos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh].

Para calcular a energia útil necessária para a preparação de AQS utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot \eta_d)}{3600000} \quad (2.5)$$

Onde,

$M_{AQS}$  – corresponde ao consumo médio diário de referência [l];

$\Delta T$  – corresponde ao aumento de temperatura necessário (para efeitos de calculo toma o valor de 35°C);

$\eta_d$  – corresponde ao número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais (para efeitos de calculo considera-se 365 dias).

Para calcular o consumo de energia elétrica de funcionamento dos ventiladores ( $W_{vm}$ ), quando o edifício dispõe de sistemas mecânicos de ventilação, utiliza-se a expressão:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \cdot \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \cdot \frac{H_f}{1000} \quad (2.6)$$

Onde,

$V_f$  – corresponde ao caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m<sup>3</sup>/h];

$\Delta P$  – corresponde à diferença de pressão total do ventilador [Pa];

$\eta_{tot}$  – corresponde ao rendimento total de funcionamento do ventilador;

$H_f$  – corresponde ao número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano [h] (para efeitos de calculo considera-se que os ventiladores funcionam 24 h/dia, num total 8760h).

Como referido no subcapítulo 2.5 existem diversas classes energética que certificam o desempenho energético de um edifício. Na Tabela 2.6.1 é possível verificar, segundo o Despacho nº1579-J/2013, as classes energéticas consoante o valor de  $R_{NT}$  obtido a partir da equação 2.1.

Tabela 2.6.1: Classes energéticas segundo o valor  $R_{NT}$ .

Classe Energética	Valor de $R_{NT}$
A+	$R_{NT} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{NT} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$
F	$R_{NT} \geq 2,51$

Para a utilização desta metodologia é necessário fazer a caracterização do edifício em estudo, tanto a nível geométrico, como a nível das soluções construtivas, dos sistemas energéticos, da localização e das condições climáticas médias, com recurso à folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético do edifício disponibilizada pelo IteCons.

## 2.7. Simulação Dinâmica Computacional (EnergyPlus)

Na realização desta dissertação irá ser utilizado o software de simulação EnergyPlus, tendo por base dois outros programas, BLAST e DOE-2, lançados em 2001. Com a sua utilização irá ser possível analisar o consumo energético total, a energia necessária para o aquecimento e arrefecimento de modo a atingir o conforto térmico, a temperatura interior, as renovações de ar, a energia produzida através da utilização de painéis fotovoltaicos, entre outros. Para possibilitar a sua utilização é necessária a criação de um modelo geométrico do edifício que se pretende simular. Neste caso recorreu-se ao SketchUp sendo possível definir as diferentes zonas térmicas. É ainda necessária a definição de parâmetros que iram definir as condições do exterior, como a localização e as características climáticas, a definição dos materiais e soluções construtivas, a ocupação, a iluminação e equipamentos elétricos, as temperaturas de conforto, as infiltrações, entre outros.

Para cada intervalo de time step o EnergyPlus utiliza a seguinte equação de modo a obter o balanço térmico para cada zona térmica z: [13]

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_1 + \sum_{i=1}^{N_{super}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sis} \quad (2.7)$$

Onde,

$C_z \frac{dT_s}{dt}$  – corresponde à energia armazenada no ar [W];

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_1$  – corresponde ao somatório dos ganhos convectivos interiores [W];

$\sum_{i=1}^{N_{super}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  – corresponde à transferência convectiva de calor das superfícies [W];

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$  – corresponde às trocas de calor devido à mistura de ar entre zonas [W];

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  – corresponde às trocas de calor por infiltração de ar exterior [W];

$\dot{Q}_{sis}$  - corresponde à carga térmica do sistema AVAC introduzido na zona [W], sendo igual a  $C_p (T_{super} - T_z)$

Na Figura 2.7.1 é possível verificar todas as etapas associadas à simulação em EnergyPlus:

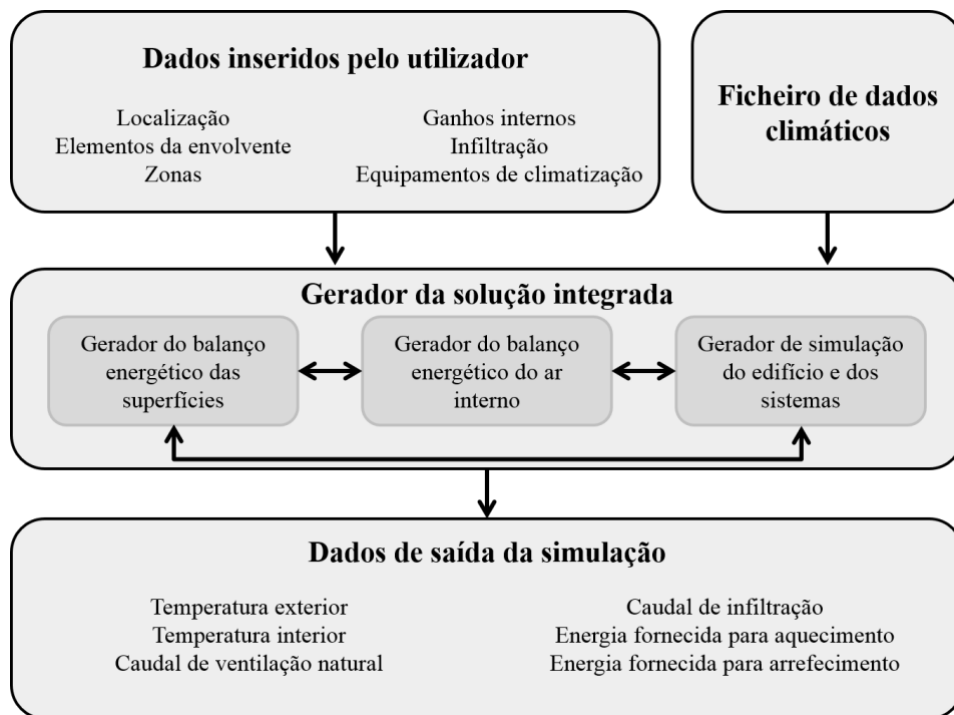


Figura 2.7.1: Etapas associadas à simulação de um modelo em EnergyPlus. [14]

## Capítulo 3 – Descrição do Caso de Estudo

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo, relativamente à sua localização, aos dados climatéricos, às soluções construtivas, à sua geometria e aos potenciais horários e consumos da família que irá viver nesta habitação. Todos estes dados serão importantes para a folha de cálculo do método REH e para a simulação dinâmica.

### 3.1. Localização e Dados Climáticos

Este caso de estudo tem como localização o concelho de Setúbal, mais precisamente à Península de Setúbal, situando-se numa zona ribeirinha, com uma distância inferior a 5km da costa, pertencente à Área Metropolitana de Lisboa, de acordo com a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de acordo com o Despacho n.º 15793-F/2013.

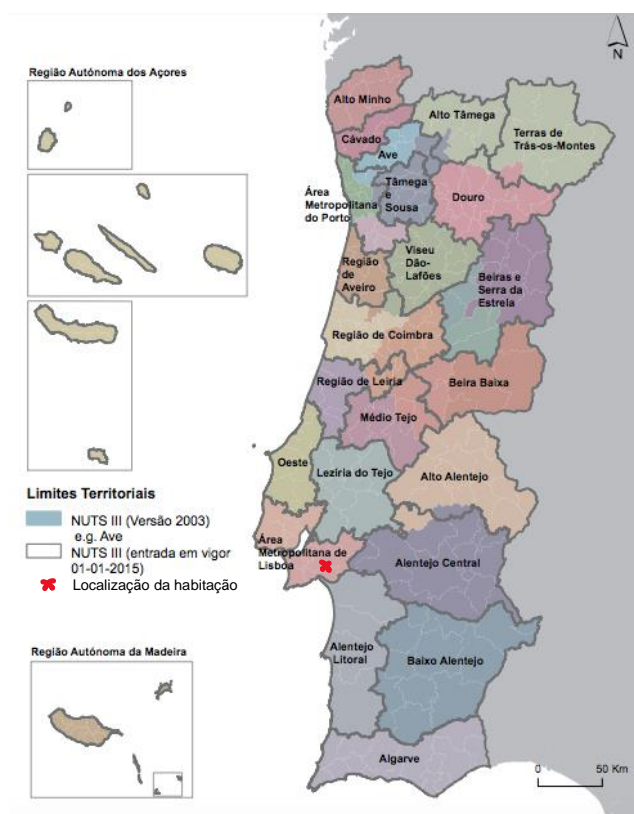


Figura 3.1.1: Limites das NUTS III 2013. Localização da habitação. Fonte: Instituto Nacional de Estatísticas.

De acordo com o software Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS, as temperaturas médias diárias na zona variam entre os 11,9°C e os 20,8°C, como se pode verificar na seguinte tabela:

Tabela 3.1.1: Temperaturas médias diárias. Fonte: PVGIS.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
$T_{med}$ (°C)	12,6	11,9	13,6	15,4	17,5	19,1	20,6	20,8	20,0	18,7	15,2	13,4	16,6


Utilizando o ficheiro Excel do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, Climats-SCE, disponibilizado pelo LNEG, segundo o Decreto-Lei nº118/2013, onde se pode escolher o município e a altitude da habitação, como se pode ver na Figura 3.1.2, é possível obter o ficheiro com dados estatísticos do clima e do ano meteorológico de referência que será mais à frente usado na simulação.

**Anos Meteorológicos de Referência** para simulação dinâmica

versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

**Seleção por município**

Setúbal



**Zona climática**

NUTS 3: Península de Setúbal  
Latitude: 38,6 °N (nominal)  
Longitude: 8,9 °W (nominal)  
Altitude: 47 m (referência)

**Local específico**

Município: Setúbal

Altitude: 38 m

**Dados climáticos**

	Referência	Neste local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	4,7	4,7 meses
T média:	10,7	10,7 °C
Graus-dia:	1045	1045 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	22,8	22,8 °C

**Zonas de verão e inverno**

V 3 I 1

**preparar ficheiro**

EPW (formato EnergyPlus Weather)

**LNEG** Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 3.1.2: Dados estatísticos do clima e do ano meteorológico. Fonte: Climats-SCE.



## 3.2. Habitação

A habitação em estudo é a junção de dois edifícios antigos, como é possível verificar na Figura 3.2.1, recentemente reabilitados de modo a se tornarem uma só habitação.



Figura 3.2.1: Habitação antes da reabilitação. Fonte: Google Maps.

Atualmente é um T2, com uma área útil de pavimento ( $A_p$ ) de 86,50 m<sup>2</sup>, 2 pisos, como é possível verificar na Figura 3.2.2, e um pé direito médio de 2,7m. A fachada frontal encontra-se orientada a Este.



Figura 3.2.2: Habitação depois da reabilitação.

Como é visível na Figura 3.2.3, a habitação encontra-se em contacto com outras edifícios tanto a norte como a oeste. A sul e a este existe sombreamento nos vãos envidraçados devido à proximidade dos edifícios e do jardim, o que irá reduzir os ganhos solares.



Figura 3.2.3: Vista superior da habitação.

No rés-do-chão situam-se o hall de entrada, as escadas de acesso ao piso superior, os dois quartos, uma casa de banho e a garagem como se pode observar na seguinte figura:

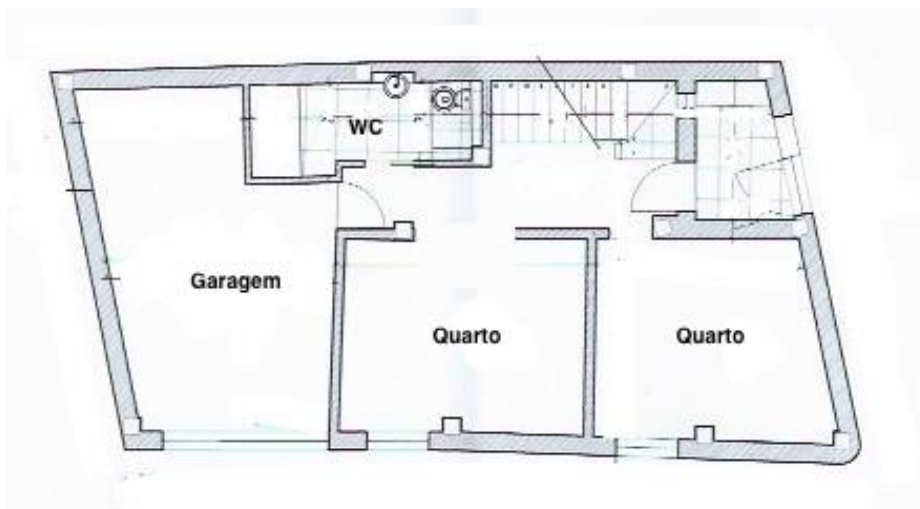


Figura 3.2.4: Planta do piso térreo.

No primeiro andar encontra-se a sala, uma casa de banho, a cozinha, a despensa e uma varanda com escadas de acesso ao terraço, como é observável na Figura 3.2.5.



Figura 3.2.5: Planta do primeiro andar.

### 3.3. Materiais e soluções construtivas

Neste subcapítulo irão descrever-se diversas soluções construtivas presentes na habitação, tendo em conta a resistência térmica, a condutividade térmica, a densidade e o calor específico de cada material utilizado.

De forma a obter a resistência térmica total ( $R_t$ ) de uma solução construtiva efetua-se a soma das resistências térmicas de todas as camadas com as resistências térmicas superficiais. No caso das paredes, portas e janelas, utilizam-se as resistências correspondentes ao fluxo horizontal e no caso de pavimentos e coberturas as referentes correspondentes ao fluxo vertical, que tomam os seguintes valores:

Tabela 3.3.1: Resistências Térmicas Superficiais. [15]

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica superficial [m <sup>2</sup> K/W]	
		Exterior ( $R_{se}$ )	Interior ( $R_{si}$ )
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	ascendente	0,04	0,10
	descendente	0,04	0,17

Para se obter o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) é necessário fazer o inverso da resistência térmica total.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.1)$$

#### 3.3.1. Paredes exteriores

Esta habitação é composta por dois tipos de paredes exteriores, a que se encontra em contacto com edifícios adjacentes, e a que efetivamente se encontra contacto com o meio ambiente, como se pode verificar na Tabela 3.3.2 e Tabela 3.3.3 respetivamente.

Tabela 3.3.2: Materiais da parede em contacto com edifícios adjacentes e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> K/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
Gesso Cartonado	0,013	0,05	0,23	415	0,92
Lã de rocha	0,09	2,43	0,037	35	1,03
Tijolo	0,3	0,56	0,49	1 200	0,84

Nas paredes em contacto com edifícios adjacentes, a este e a norte, a resistência térmica total é de 3,21 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica de 0,31 W/m<sup>2</sup>K.

Tabela 3.3.3: Materiais da parede em contacto com o exterior e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
<b>Gesso Cartonado</b>	0,013	0,05	0,23	415	0,92
<b>Lã de rocha</b>	0,09	2,43	0,037	35	1,03
<b>Tijolo</b>	0,3	0,56	0,49	1 200	0,84
<b>Reboco</b>	0,02	0,02	1,4	2 000	1,10

Nas paredes em contacto com o exterior, a sul e a oeste, a resistência térmica total é de 3,23 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica de 0,31 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.2. Paredes interiores

Esta habitação possui dois tipos de paredes interiores, as que se encontram em contacto com a garagem e as que delimitam as restantes divisões, como se pode observar na Tabela 3.3.4 e Tabela 3.3.5.

Tabela 3.3.4: Materiais da parede em contacto com a garagem e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
<b>Gesso Cartonado</b>	0,013	0,05	0,23	415	0,92
<b>Lã de rocha</b>	0,05	1,35	0,037	35	1,03
<b>Tijolo</b>	0,15	0,39	0,49	1 000	0,84
<b>Estuque</b>	0,02	0,07	0,3	800	1,00

Nas paredes em contacto com a garagem, a resistência térmica total é de 2,06 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica de 0,49 W/m<sup>2</sup>K.

Tabela 3.3.5: Materiais das paredes interiores e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
Reboco	0,02	0,02	1,4	2 000	1,10
Tijolo	0,11	0,22	0,337	800	0,84
Reboco	0,02	0,02	1,4	2 000	1,10

Nas restantes paredes interiores, a resistência térmica total é de 0,43 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica de 2,33 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.3. Pavimento

Quanto aos pavimentos esta habitação possui dois tipos, o pavimento térreo, no rés-do-chão, e o pavimento intermédio, como se pode observar na Tabela 3.3.6 e Tabela 3.3.7.

Tabela 3.3.6: Materiais dos pavimentos térreos e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
Brita Compacta	0,1	0,04	2,326	1 900	1,18
Laje de Betão	0,17	0,08	1,9	2 300	0,84
XPS	0,05	1,35	0,036	25	1,45
Betonilha de regularização	0,07	0,05	0,81	1 700	1,00
Pavimento Cerâmica	0,015	0,01	1,05	2 000	0,90

Nos pavimentos térreos, a resistência térmica total é de 1,53 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica é de 0,65 W/m<sup>2</sup>K.

Tabela 3.3.7: Materiais dos pavimentos intermédio e suas características. [16]

Material	Espessura [m]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [kJ/kg.K]
Gesso Cartonado	0,013	0,05	0,23	415	0,92
Caixa de ar	0,9	-	1	0,025	1,01
Lã de rocha	0,06	1,62	0,037	35	1,03
EPS	0,2	5,41	0,037	20	1,45
Betão	0,2	0,15	1,63	2 400	1,06
Betonilha de regularização	0,07	0,05	0,81	1 700	1,00
Pavimento Cerâmica	0,02	0,02	1,05	2 000	0,90

Nos pavimentos intermédios, a resistência térmica total ascendente é de 7,44 m<sup>2</sup>K/W e descendente é de 7,51 m<sup>2</sup>K/W, perfazendo um coeficiente de transmissão térmica ascendente é de 0,13 W/m<sup>2</sup>K e descendente é de 0,13 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.4. Cobertura

Na habitação em estudo a solução construtiva para a cobertura é a mesma apresentada para os pavimentos intermédios que se encontra representada na Tabela 3.3.7.

### 3.3.5. Vãos envidraçados

Nesta habitação apenas existem vãos envidraçados a Sul e a Nascente, como é possível verificar na Figura 3.2.2, sendo orientações muito benéficas relativamente aos ganhos solares.

Os vãos envidraçados estão inseridos numa caixilharia de PVC, são do tipo giratório, com classificação 4 de permeabilidade ao ar e com vidro duplo (incolor baixo emissivo com 6mm no exterior e interior e com 16mm de caixa de ar) com fator solar igual a 0,61.

A solução construtiva apresentada não contém quadrícula e possui proteção solar com estores exteriores opacos de cor clara, com baixa permeabilidade de ar, e coeficiente de transmissão térmica igual a 2 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.4. Hábitos de Utilização

Para a criação de hábitos de utilização assumiu-se que na habitação irá morar um casal com um filho, definindo-se para as zonas de maior utilização, quartos, sala e cozinha, os respetivos horários de utilização. Optou-se por não criar para a utilização dos WC's, da despensa e da garagem pois foi considerado residual.

#### 3.4.1. Ocupação

Quando considerada a ocupação é necessário definir o número de pessoas por divisão, neste caso foi considerado que um dos quartos é o do casal, 2 pessoas, e o outro o do filho, 1 pessoa, sendo que as restantes zonas são de utilização comum, 3 pessoas.

É ainda importante definir um horário de atividade que consiste nos ganhos de calor gerados pela atividade que uma pessoa está a realizar. Na seguinte tabela é possível verificar qual os ganhos gerados consoante a atividade realizada:

Tabela 3.4.1: Ganhos gerados pela atividade realizada. [17]

Atividade	Ganhos [W]
Dormir	72
Sentado	108
Andar	126

Nas seguintes figuras é possível verificar os horários de ocupação considerados, tendo existido o cuidado de criar um horário semanal diferenciado do horário de fins-de-semana, férias e feriados.

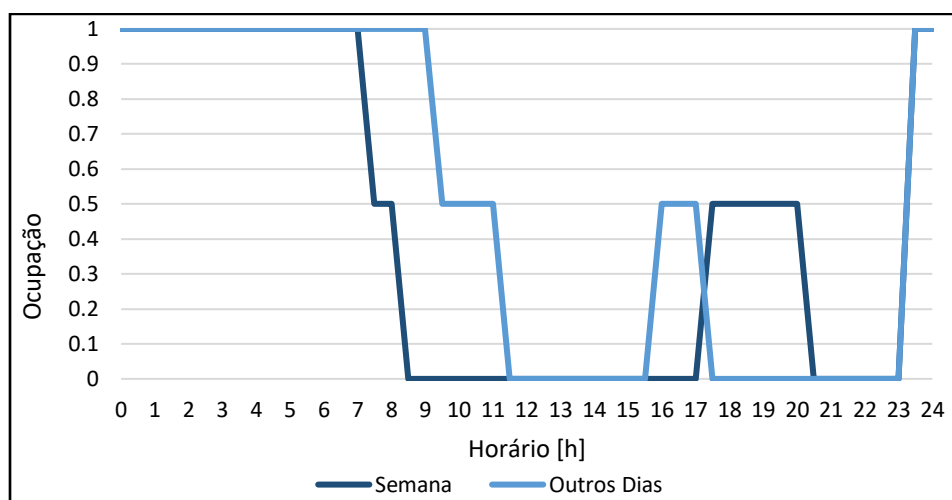


Figura 3.4.1: Horários de ocupação para os Quartos, durante a semana e para os restantes dias.



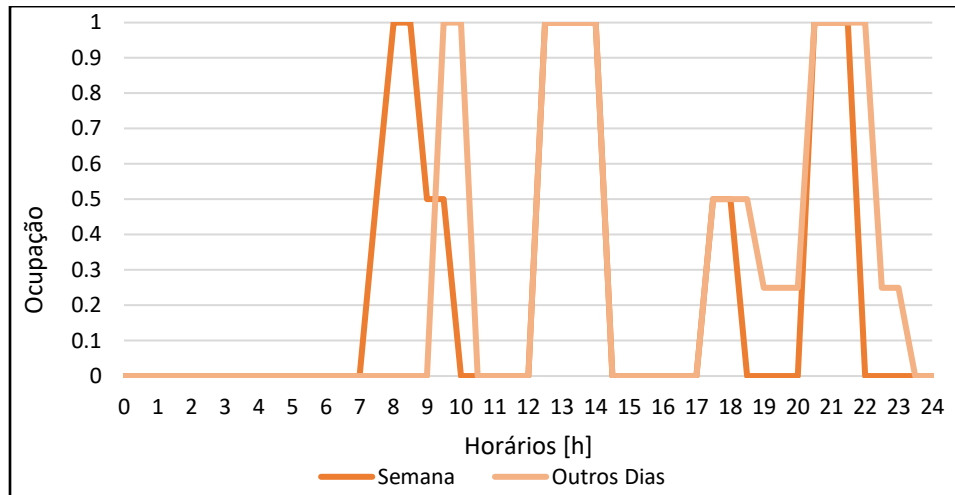


Figura 3.4.2: Horários de ocupação para a Cozinha, durante a semana e para os restantes dias.

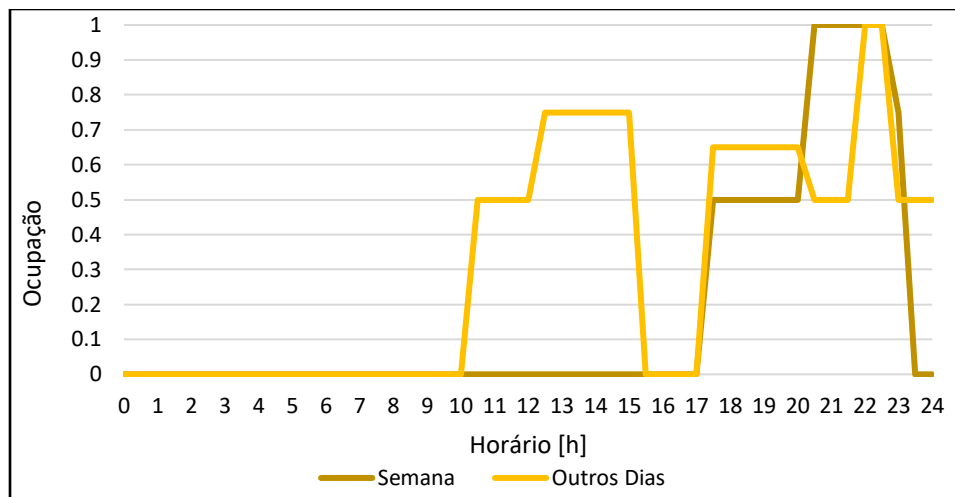


Figura 3.4.3: Horários de ocupação para a Sala, durante a semana e para os restantes dias.

### 3.4.1. Iluminação

No caso da iluminação é necessário obter valores de intensidade de iluminação [lux] que sejam eficazes para a realização das tarefas destinadas ao local. Para esse efeito optou-se por considerar o uso de LEDs, sendo que por norma possuem uma eficácia de 60lm/W.

Sabendo que:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2 \quad (3.2)$$

Na tabela seguinte é possível verificar a densidade de potência de iluminação [W/m<sup>2</sup>] para as respetivas zonas consideradas:

Tabela 3.4.2: Valores da densidade de potência de iluminação necessária. [17]

Zona	Lux	Densidade de potência [W/m <sup>2</sup> ]
Sala	323	5,38
Quarto	431	7,18
Cozinha	538	8,97

Para além da densidade também é necessário criar horários de iluminação que se encontram apresentados nas seguintes figuras:

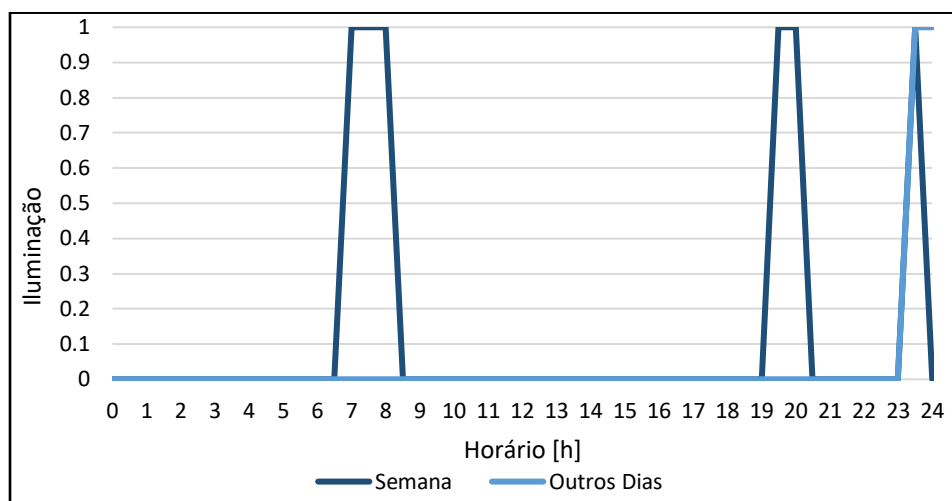


Figura 3.4.4: Horários de Iluminação para o Quarto, durante a semana e para os restantes dias.

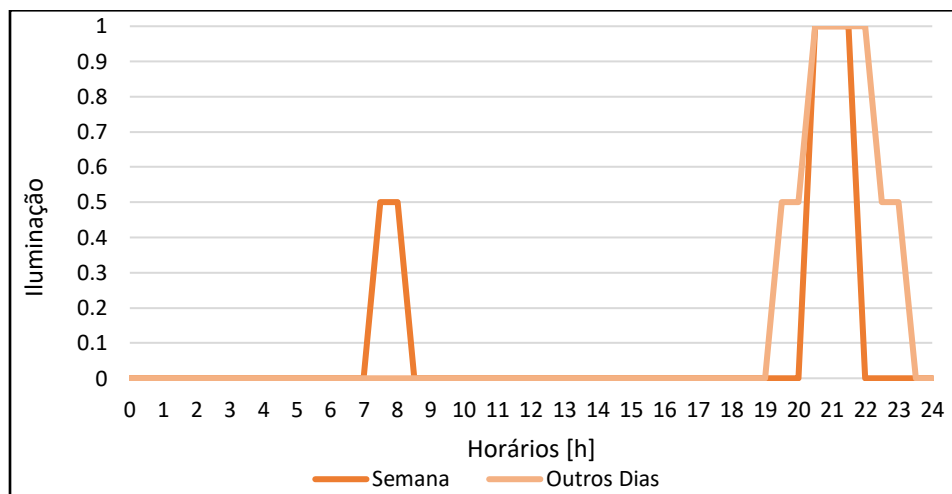


Figura 3.4.5: Horários de Iluminação para a Cozinha, durante a semana e para os restantes dias.

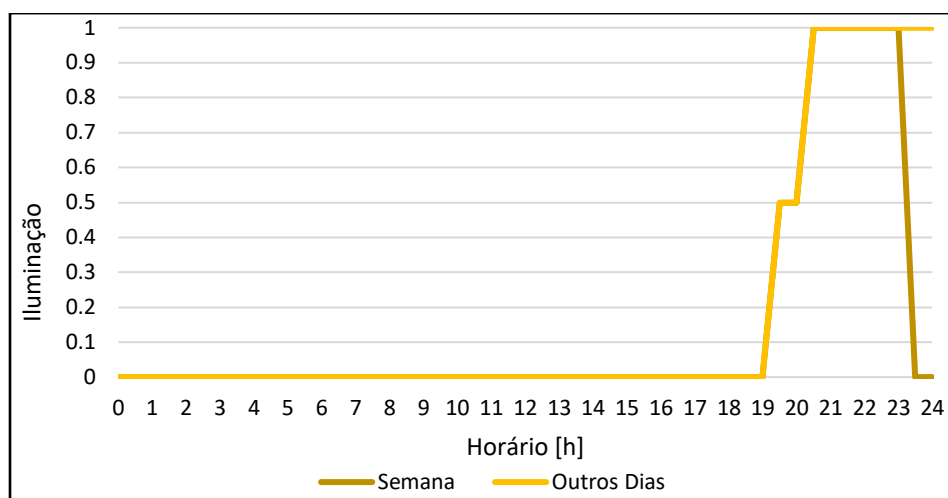


Figura 3.4.6: Horários de Iluminação para a Sala, durante a semana e para os restantes dias.

### 3.4.1. Equipamentos

No caso dos equipamentos considerou-se uma família ecológica, com equipamentos de Classe Energética de A ou superior, tendo sido feito um estudo entre os eletrodomésticos que se encontram atualmente no mercado. Na seguinte tabela é possível verificar a eletricidade consumida anualmente e a potência de cada equipamento:

Tabela 3.4.3: Consumo dos equipamentos utilizados por uma família ecológica.

Zona	Equipamento	Horas de utilização [h/dia]	Eletricidade [kWh/ano]	Potência [W]
Quarto	Computador	4	95	65
Sala	Audiovisual	6	125	57
Cozinha	Frigorífico	24	193	22
	Placa Elétrica	2	1 080	1 450
	Máquina de lavar loiça	1,5	-	800
	Máquina de lavar roupa	5h/semana	137	525
	Forno	1h/semana	-	2 750

### 3.5. Sistemas de Climatização

Atualmente, a habitação possui um sistema termodinâmico para produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS), composto por um coletor colocado terraço com uma inclinação de 90° e orientado a Sul (0°) encontrando-se interligado a um depósito de acumulação com as seguintes características:

Tabela 3.5.1: Características do sistema termodinâmico para produção de AQS. [19]

<b>Marca</b>	<b>Energy Panel</b>
<b>Modelo</b>	Thermoboil 200 E
<b>COP</b>	2-5
<b>Número de Painéis</b>	1 (1700 x 800 mm)
<b>Capacidade</b>	200 litros
<b>Potência</b>	1,5 kW
<b>Temperatura de saída da água</b>	55°C

## Capítulo 4 – REH

Como referido no Capítulo 2 para a utilização do método REH irá se recorrer à folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético do edifício disponibilizada pelo IteCons. Neste caso, foi utilizada a versão V3.11 de 2 de maio de 2018, que se encontra de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.

### 4.1. Introdução de Dados

#### 4.1.1. Identificação Geográfica do Edifício

Ao introduzir os dados relativos à localização geográfica do edifício, obtém-se a zona climática bem como as temperaturas médias tanto de inverno como de verão, como se pode ver na Tabela 4.1.1.

Tabela 4.1.1: Dados relativos à localização geográfica.

<b>Concelho</b>	Setúbal
<b>Latitude</b>	38.522050
<b>Longitude</b>	-8.880021
<b>Altitude</b>	38
<b>Distância à costa</b>	Inferior a 5 km

Neste caso, a habitação encontra-se numa zona em que os graus-dia tomam o valor de 1032, o que corresponde à zona climática de inverno II, com uma temperatura média exterior de 10,7°C e a estação de aquecimento a durar 4,7 meses, e à zona climática de verão V3, com uma temperatura média exterior de 22,8°C e a estação de arrefecimento a durar 4 meses. Comparando com os resultados obtidos a partir da legislação com os obtidos através do PVGIS, Tabela 3.1.1, é possível verificar que existe uma diferença significativa, o que poderá vir a acabar por afetar os resultados.

#### 4.1.2. Levantamento Dimensional

De seguida é necessário fazer a caracterização geral da habitação.

Tabela 4.1.2: Caracterização geral da habitação.

<b>Área útil de pavimento</b>	86,5 m <sup>2</sup>
<b>Tipologia</b>	T2
<b>Nº de pisos</b>	2

Pé direito médio	2,7 m	
Levantamento Dimensional	Despensa	3,68 m <sup>2</sup>
	WC1	3,20 m <sup>2</sup>
	Cozinha	21,10 m <sup>2</sup>
	Sala	21,10 m <sup>2</sup>
	Quarto 1	12,15 m <sup>2</sup>
	Quarto 2	12,00 m <sup>2</sup>
	WC0	5,00 m <sup>2</sup>
	Corredor 0	4,14 m <sup>2</sup>
	Corredor 1	4,14 m <sup>2</sup>

#### 4.1.3. Envolvente exterior

Depois é preciso caracterizar as várias superfícies existentes na habitação, sendo que em primeiro lugar é pedido para caracterizar a envolvente exterior.

Tabela 4.1.3: Caracterização da envolvente exterior segundo a sua orientação, área e coeficiente de transmissão térmica.

Soluções construtivas		Área [m²]	Orientação	Coeficiente de transmissão térmica (U) [W/m²K]	
Paredes exteriores		3,9	Norte	0,31	
		16	Este		
		29	Sul		
Pontes térmicas planas	Pilares	0,6	Este	0,33	
		1,8	Sul		
	Vigas	0,2	Norte	0,33	
		1,2	Este		
		2,2	Sul		
	Estores	1,2	Este	0,72	
		2,1	Sul		
	Cobertura exterior		54,9	-	Ascendente
Descendente					
Vãos envidraçados		7,7	Este	2	
		6,6	Sul		

No caso dos vãos envidraçados para além dos valores apresentados na Tabela 4.1.3 é necessário definir outros como a fração efetiva de envidraçado ( $F_g$ ) das janelas que, segundo o Despacho n.º 15793-K/2013, pode apresentar os seguintes valores consoante a caixilharia:

Tabela 4.1.4: Fração Envidraçada

Caixilharia	$F_g$	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
<b>Alumínio ou aço</b>	0,7	0,6
<b>Madeira ou PVC</b>	0,65	0,57

No caso em estudo, como referido no subcapítulo 3.3.5, a caixilharia é em PVC e não possui quadrícula logo  $F_g$  irá tomar o valor de 0,65 e ser classificado como 4 quanto à sua classe.

Foi ainda necessário definir as diferentes orientações dos vãos envidraçados consoante as zonas onde se encontram como se pode verificar na seguinte tabela:

Tabela 4.1.5: Orientações dos vãos envidraçados e respetiva área.

Zona	Orientação	Área envidraçada [m <sup>2</sup> ]
<b>Quarto 1</b>	Sul	1,2
<b>Quarto 2</b>	Sul	1,2
<b>Cozinha</b>	Sul	1,58
	Sul	0,87
<b>Sala</b>	Sul	1,75
	Este	5,44
<b>Corredor 0</b>	Este	0,41
<b>Corredor 1</b>	Este	1,85

Optou-se ainda por não utilizar a regra de simplificação do sombreamento e calculou-se os vários ângulos de sombreamento correspondentes às obstruções. Neste caso apenas foram consideradas obstruções no horizonte, relacionado com os edifícios em redor, sendo que as restantes obstruções, a pala horizontal e a pala vertical à esquerda e à direita, não são aplicáveis.

As obstruções horizontais são o ângulo entre o ponto médio do vão envidraçado paralelo ao plano horizontal e o ponto mais alto da sua maior obstrução, num ângulo de 60° para ambos os lados, como se pode verificar na seguinte imagem:

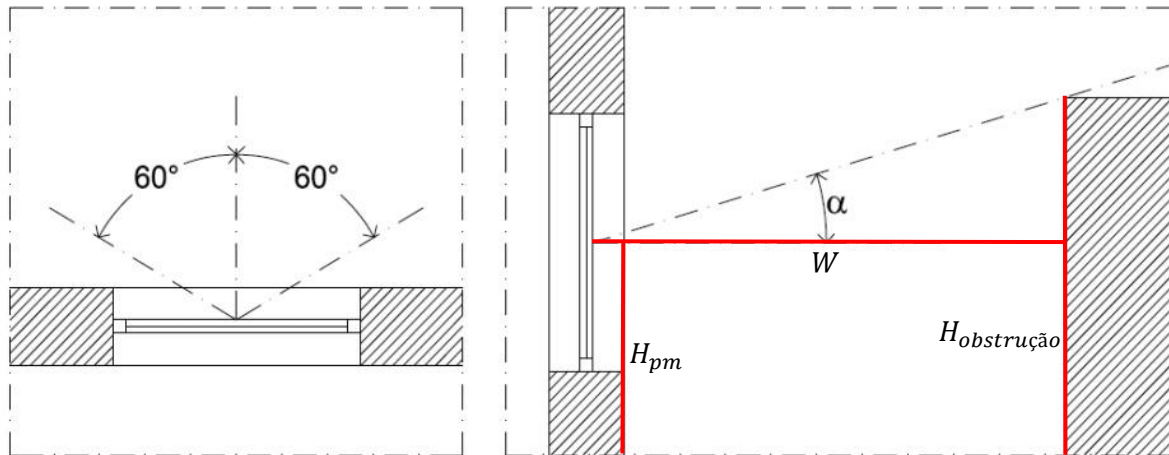


Figura 4.1.1: Cálculo do ângulo correspondente às obstruções horizontais. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013.

Para a obtenção do ângulo da obstrução horizontal optou-se por medir a distância na horizontal entre a habitação e a obstrução,  $W$ , a altura da obstrução,  $H_{obstrução}$ , e a altura até ao ponto médio do vão envidraçado,  $H_{pm}$ , e aplicar à seguinte equação:

$$Obstrução\ horizontal = \tan^{-1} \left( \frac{H_{obstrução} - H_{pm}}{W} \right) \quad (4.1)$$

Como todos os valores vão ser diferentes entre cada vão envidraçado será necessário fazer o estudo para cada caso.

#### 4.1.4. Envolvente em contacto com o solo

Não considerando a simplificação no que diz respeito ao cálculo da transmissão pelos elementos em contacto com o solo é necessário caracterizar toda a envolvente em contacto com o solo, que irá corresponder ao pavimento térreo descrito no subcapítulo 3.3.3. Não sabendo a condutividade térmica do solo foi considerado 2,0 W/m.K, segundo a norma EN 13370.

Tabela 4.1.6: Caracterização da envolvente em contacto com o solo segundo a sua resistência térmica, área, perímetro e espessura.

Envolvente em contacto com o solo	Área [m <sup>2</sup> ]	Resistência térmica (R) [m <sup>2</sup> .K/W]	Perímetro da parede exposta [m]	Espessura [m]
Pavimento térreo	38,5	1,53	36,28	0,44

De acordo com a legislação em vigor o coeficiente de transmissão térmica irá ser de 0,34 W/m<sup>2</sup>.K.



Quanto às pontes térmicas lineares exteriores, que são zonas em que se verifica maior perda de calor, optou-se utilizar a metodologia simplificada de cálculo, sendo necessário definir o comprimento de cada tipo de ligação entre elementos como se pode verificar na seguinte tabela:

Tabela 4.1.7: Pontes térmicas lineares exteriores e respetivos comprimentos.

Tipo de ligação entre elementos	Comprimento [m]
Fachada com pavimentos térreos	20,22
Fachada com pavimento intermédio	19,34
Fachada com varanda	6,37
Fachada com cobertura	15,45
Duas paredes verticais em ângulo saliente	24,30
Fachada com caixilharia	52,18
Zona de caixa de estores	9,79

#### 4.1.5. Envoltente Interior

Nesta secção é necessário definir em primeiro lugar os espaços não uteis, ENU, que neste caso será a garagem e os edifícios adjacentes, sendo que as soluções construtivas que se tem de descrever são as que se encontram em contacto com os espaços não uteis.

Tabela 4.1.8: Caracterização da envoltente interior segundo a sua área e coeficiente de transmissão térmica.

Soluções construtivas		Área [m <sup>2</sup> ]	Coeficiente de transmissão térmica (U) [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Paredes</b>	em contacto com a garagem	17,6	0,49
	em contacto com edifícios adjacentes	46,3	0,31
<b>Pavimento</b>		17	0,13

Quanto às pontes térmicas lineares interiores são calculadas da mesma forma que as exteriores sendo que neste caso apenas existe uma como se pode verificar na seguinte tabela:

Tabela 4.1.9: Pontes térmicas lineares interiores e respetivos comprimentos.

Tipo de ligação entre elementos	Comprimento [m]
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	10,20

#### 4.1.6. Ventilação

A ventilação, no caso em estudo, é processada de forma natural através dos vãos envidraçados, que permitem o arrefecimento noturno. Para a sua definição na folha de calculo, recorreu-se ao método de cálculo “Outro” e definiu-se que o sistema de ventilação se encontrava de acordo com a norma 1037-1. Tendo em conta o valor fornecido num Certificado Energético realizado anteriormente à habitação em estudo considerou-se uma taxa nominal de renovação de ar estimada, Rph estimada, de 0,53 e uma taxa nominal de renovação de ar mínimo, Rph mínimo, de 0,40.

#### 4.1.7. Sistemas Técnicos

Por último, é necessário definir os sistemas técnicos existentes na habitação.

Neste caso apenas existe apenas um, a bomba de calor, que apesar de ser de fonte renovável, a folha de cálculo não permite tal definição. Assim sendo, definiu-se como fonte de energia é a eletricidade. Na seguinte tabela é possível verificar os dados introduzidos.

Tabela 4.1.10: Sistema Técnico.

Fonte de Energia	Eletricidade
Tipo de Equipamento	Bomba de Calor (água-água)
Função	Águas Quentes Sanitárias
Funcionamento (perfil de consumo)	Durante todo o ano
Potência [kW]	1,5
Eficiência do Equipamento	7,9
Fração servida	1

## 4.2. Análise de Resultados

Na seguinte tabela é possível verificar os indicadores energéticos obtidos a partir do método REH, como: as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento,  $N_{ic}$ , e para arrefecimento,  $N_{vc}$ , a energia útil para preparação de água quente sanitária,  $Q_a$ , a energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados,  $E_{ren}$ , as necessidades nominais anuais globais de energia primária,  $N_{tc}$ , e o valor limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária,  $N_t$ .

Tabela 4.2.1: Indicadores energéticos obtidos a partir do método REH.

Indicadores energéticos	Valor obtido	Valor Referência
$N_{ic}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	33	53,19
$N_{vc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	14,13	17,15
$Q_a$ [kWh/ano]	1783	1783
$E_{ren}$ [kWh/ano]	1532	-
$N_{tc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	103,65	-
$N_t$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	-	165,67

Ao analisar os valores obtidos, referentes aos indicadores energéticos, é possível verificar que todos se encontram abaixo do valor de referência, tendo-se obtido um rácio  $R_{NT}$  de 0,63 que, segundo a Tabela 2.6.1, corresponde a uma Classe Energética B.

Na seguinte tabela é possível verificar os indicadores de desempenho obtidos:

Tabela 4.2.2: Indicadores de desempenho obtidos a partir do método REH.

Indicadores de desempenho	Valor Obtido [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Valor Referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Renovável [%]
Aquecimento	33,85	53,19	-
Arrefecimento	4,71	5,72	-
AQS	20,61	7,36	85,94
Energia Renovável [%]	29,93		
Emissões de CO <sub>2</sub> [t/ano]	1,29		

Ao analisar os valores obtidos verifica-se que, como anteriormente, estes se encontram abaixo do valor de referência. No caso do arrefecimento os valores encontram-se próximos, levando a querer que poderão existir algumas soluções de melhoria de forma aperfeiçoar o desempenho quanto ao arrefecimento. Também é possível verificar que a energia renovável representa uma percentagem muito baixa, havendo possibilidade de maior exploração desta área.

## Capítulo 5 – Simulação Dinâmica Computacional

### 5.1. SketchUp

De modo a ser possível efetuar a simulação dinâmica do edifício, é necessário criar um desenho 3D da mesma utilizando o programa SketchUp com a extensão Euclid, que permite gravar o desenho com o formato .idf, de modo a ser possível ler o ficheiro no EnergyPlus.

Na criação do desenho, utilizando como base as plantas apresentadas na Figura 3.2.4 e na Figura 3.2.5, foram realizadas algumas simplificações a nível da geometria, como a remoção das escadas, pois não se torna significativo para a simulação. Comparando a Figura 5.1.1 e a Figura 3.2.2 é possível verificar as semelhanças do modelo com a realidade.

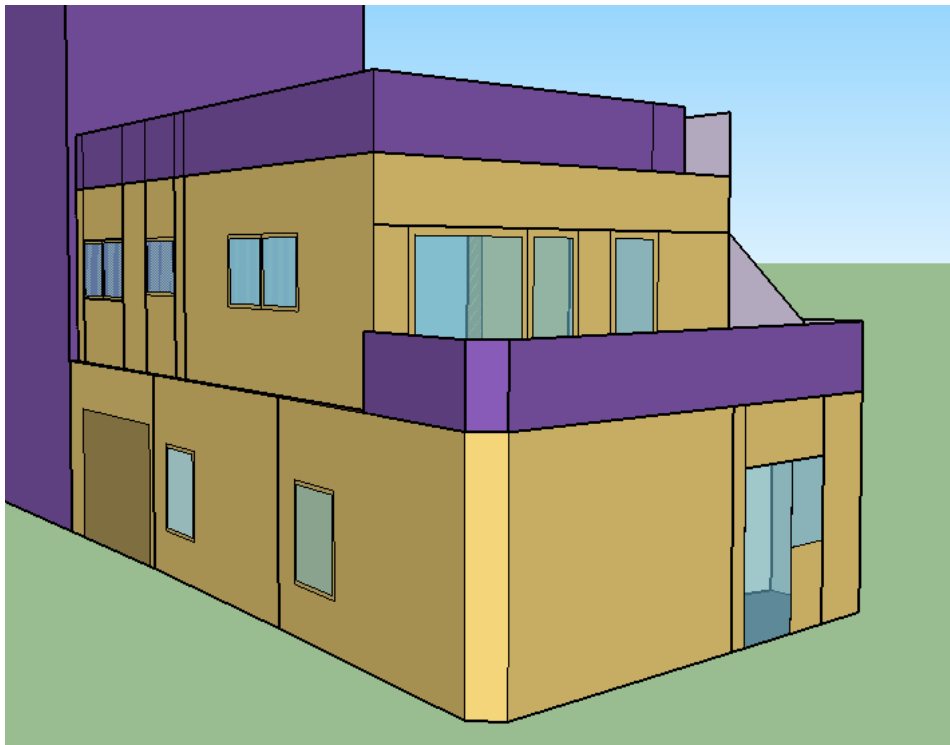


Figura 5.1.1: Modelo da habitação criado utilizando o SketchUp.

No desenho da habitação teve-se o cuidado de criar Shading Groups de modo a representar os edifício e obstruções da envolvente, como de pode observar na seguinte figura:

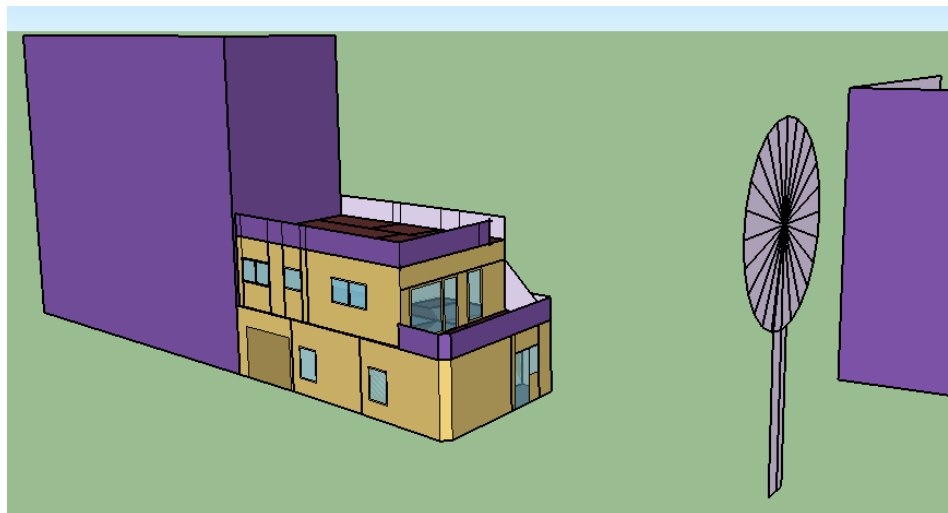


Figura 5.1.2: Representação dos edifício e obstruções da envolvente.

## 5.2. EnergyPlus

Quanto ao EnergyPlus será necessário, em primeiro lugar, seleccionar o .idf criado no ScketchUp e o ficheiro climático referido na Figura 3.1.2, como é possível observar na seguinte figura:

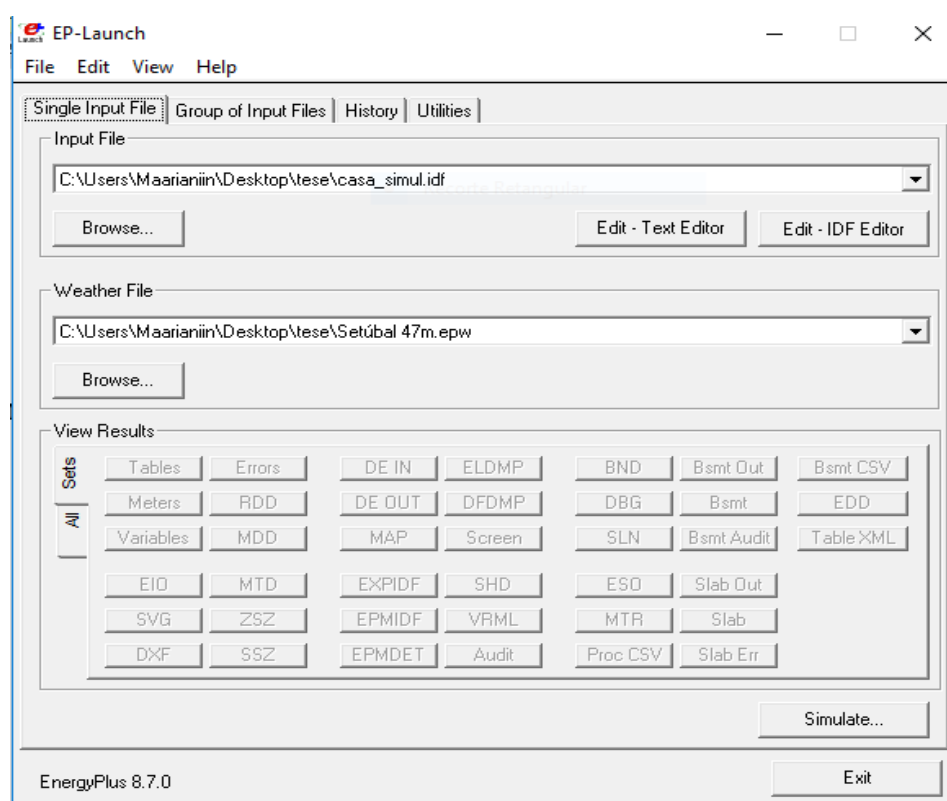


Figura 5.2.1: Interface do EnergyPlus.

De seguida é necessário inserir as características da habitação, sendo preciso definir o número de time steps por hora. No caso optou-se por definir que os valores seriam calculados 4 vezes por hora.

Outra informação pedida, a temperatura do solo que, de modo a que seja estável, considerou-se a temperatura a dois metros de profundidade, obtida no site do EnergyPlus. No caso em questão, a informação corresponde a Lisboa que é o ponto mais próximo da localização da habitação sendo possível observar as temperaturas consideradas na seguinte figura:

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	13.2
February Ground Temperature	C	12.3
March Ground Temperature	C	12.5
April Ground Temperature	C	13.2
May Ground Temperature	C	15.5
June Ground Temperature	C	17.7
July Ground Temperature	C	19.4
August Ground Temperature	C	20.3
September Ground Temperature	C	20.1
October Ground Temperature	C	18.9
November Ground Temperature	C	16.9
December Ground Temperature	C	14.9

Figura 5.2.2: Temperatura do solo.

Relativamente aos horários de ocupação, de iluminação e de equipamentos, referidos no subcapítulo 3.4, utilizou-se o método mais comum, o Compact como se pode observar na Figura 5.2.3.

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Occupancy LivingR	Occupancy Kitchen	Occupancy Room	Occupancy LivingRoom	Occupancy Kitchen	Occupancy Rooms	Occupancy LivingRoom
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays
Field 3	varies	Unit: 17:00	Unit: 07:00	Unit: 07:00	Unit: 19:00	Unit: 07:00	Unit: 06:30	Unit: 17:00
Field 4	varies	0	0	0	0	0	0	0.15
Field 5	varies	Unit: 20:00	Unit: 07:30	Unit: 08:00	Unit: 20:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 23:00
Field 6	varies	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
Field 7	varies	Unit: 22:00	Unit: 08:30	Unit: 17:00	Unit: 23:00	Unit: 20:00	Unit: 19:00	Unit: 24:00
Field 8	varies	1	1	0	1	0	0	0.15
Field 9	varies	Unit: 23:00	Unit: 09:30	Unit: 20:00	Unit: 24:00	Unit: 21:30	Unit: 20:00	For: Weekends Hol
Field 10	varies	0.75	0.5	0.5	0	1	1	Unit: 12:00
Field 11	varies	Unit: 24:00	Unit: 12:00	Unit: 23:00	For: Weekends Hol	Unit: 24:00	Unit: 23:00	0.15
Field 12	varies	0	0	0	Unit: 19:00	0	0	Unit: 15:00
Field 13	varies	For: Weekends Hol	Unit: 14:00	Unit: 24:00	0	For: Weekends Hol	Unit: 23:30	1
Field 14	varies	Unit: 10:00	Unit: 17:00	1	Unit: 20:00	Unit: 19:00	1	Unit: 17:00
Field 15	varies	0	Unit: 17:00	For: Weekends Hol	0.5	0	Unit: 24:00	0.15
Field 16	varies	Unit: 12:00	0	Unit: 09:00	Unit: 24:00	Unit: 20:00	0	Unit: 24:00
Field 17	varies	0.5	Unit: 18:00	1	1	0.5	For: Weekends Hol	1
Field 18	varies	Unit: 15:00	0.5	Unit: 11:00		Unit: 22:00	Unit: 23:00	
Field 19	varies	0.75	Unit: 20:00	0.5		1	0	
Field 20	varies	Unit: 17:00	0	Unit: 15:00		Unit: 23:00	Unit: 24:00	
Field 21	varies	0	Unit: 21:30	0		0.5	1	
Field 22	varies	Unit: 20:00	1	Unit: 17:00		Unit: 24:00		
Field 23	varies	0.65	Unit: 24:00	0.5		0		
Field 24	varies	Unit: 21:30	0	Unit: 23:00				

Figura 5.2.3: Horários definidos.

Na definição dos materiais é necessário especificar a sua espessura [m], a condutividade térmica [W/m.K], a densidade [kg/m<sup>3</sup>] e o calor específico [J/kg.K], como se pode observar na seguinte figura:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		gesso cartonado	la de rocha 0.09m	tijolo 0.3m	reboco
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	Rough
Thickness	m	0.013	0.09	0.3	0.02
Conductivity	W/m.K	0.25	0.037	0.49	1.4
Density	kg/m3	728	35	1200	2000
Specific Heat	J/kg.K	920	1030	840	1100
Thermal Absorptance					
Solar Absorptance					

Figura 5.2.4: Materiais.

No caso das janelas existem dois inputs necessários o Glazing e o Gas como é possível verificar na Figura 5.2.5 e Figura 5.2.6.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Vidro duplo interior	Vidro duplo exterior
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name			
Thickness	m	0.006	0.006
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837	0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898	0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance			
Solar Diffusing			
Young's modulus	Pa		
Poisson's ratio			

Figura 5.2.5: Caracterização do vidro da janela, Glazing.

Field	Units	Obj1
Name		Air 16mm
Gas Type		Air
Thickness	m	0.016
Conductivity Coefficient A	W/m-K	

Figura 5.2.6: Caracterização do gás da caixa-de-ar da janela, Gas.

O último passo relativamente à construção é a identificação dos seus materiais por camadas como se pode verificar na seguinte imagem:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		parede exterior	parede garagem	parede adjacentes	pavimento interior
Outside Layer		reboco	estruque 0.02m	tijolo 0.3m	gesso cartonado
Layer 2		tijolo 0.3m	tijolo 0.15m	la de rocha 0.09m	caixa de ar cobertur
Layer 3		la de rocha 0.09m	la de rocha 0.09m	gesso cartonado	la de rocha 0.06m
Layer 4		gesso cartonado	gesso cartonado		abobadilha EPS
Layer 5					betao
Layer 6					betonilha de regular
Layer 7					mosaico ceramico
Layer 8					

Figura 5.2.7: Identificação dos vários componentes.

Quanto aos ganhos internos existem 3 inputs necessários, pessoas, iluminação e equipamentos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		peçoas_sala	peçoas_quarto1	peçoas_quarto2	peçoas_cozinha
Zone or ZoneList Name		1_Sala	0_Quarto 1	0_Quarto 2	1_Cozinha
Schedule Name		Occupancy LivingR	Occupancy Room S	Occupancy Room S	Occupancy Kitchen
Number of People Calculation Method		People	People	People	People
Number of People		3	1	2	3
People per Zone Floor Area	person/m2				
Zone Floor Area per Person	m2/person				
Fraction Radiant		0.3	0.3	0.3	0.3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activity Schedule	Activity Schedule	Activity Schedule	Activity Schedule
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s*W	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name					
Work Efficiency Schedule Name					
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name					

Figura 5.2.8: Definição do Input pessoas.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		lights_sala	lights_quarto1	lights_quarto2	lights_cozinha
Zone or ZoneList Name		1_Sala	0_Quarto 1	0_Quarto 2	1_Cozinha
Schedule Name		Lights LivingRoom S	Lights Rooms Sche	Lights Rooms Sche	Lights Rooms Sche
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W				
Watts per Zone Floor Area	W/m2	5.38	7.18	7.18	8.97
Watts per Person	W/person				
Return Air Fraction					
Fraction Radiant		0.5	0.5	0.5	0.5
Fraction Visible					
Fraction Replaceable		1	1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co					
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K				

Figura 5.2.9: Definição do Input iluminação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		equip_sala	equip_quarto2	equip_quarto1
Zone or ZoneList Name		1_Sala	0_Quarto 2	0_Quarto 1
Schedule Name		Equipment LivingRc	Equipment quarto S	Equipment quarto S
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	57	65	65
Watts per Zone Floor Area	W/m2			
Watts per Person	W/person			
Fraction Latent				
Fraction Radiant				
Fraction Lost				
End-Use Subcategory		General	General	General

Figura 5.2.10: Definição do Input equipamento.

Por último, falta definir a infiltração de ar que é necessário ter em conta uma vez que não é controlável.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		sala infiltration	Quarto1 infiltration	Quarto2 infiltration
Zone or ZoneList Name		1_Sala	0_Quarto 1	0_Quarto 2
Schedule Name		Always On	Always On	Always On
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2			
Air Changes per Hour	1/hr	0.65	0.65	0.65
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				

Figura 5.2.11: Infiltração de ar.



Numa segunda simulação, de modo a categorizar as necessidades energéticas associadas à climatização utilizou-se o HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem, tendo sido definidas as características de sistema de climatização que garanta as gamas de temperaturas pretendidas.

Field	Units	Obj1
Name		Constant Setpoint T
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	20
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	25

Figura 5.2.12: Termostato.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Zone Name		0_Quarto 1	0_Quarto 2	1_Cozinha	1_Sala
Template Thermostat Name		Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T	Constant Setpoint T
System Availability Schedule Name		Always On	Always On	Always On	Always On
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50	50	50	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13	13	13	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077
Heating Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s				
Maximum Sensible Heating Capacity	W				
Cooling Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s				
Maximum Total Cooling Capacity	W				
Heating Availability Schedule Name					
Cooling Availability Schedule Name					
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0.7	0.7	0.7	0.7
Dehumidification Setpoint	percent	60	60	60	60
Humidification Control Type		None	None	None	None
Humidification Setpoint	percent	30	30	30	30
Outdoor Air Method		None	None	None	None
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s.m2				
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s				
Design Specification Outdoor Air Object Name					
Demand Controlled Ventilation Type		None	None	None	None
Outdoor Air Economizer Type		NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer
Heat Recovery Type		None	None	None	None
Sensible Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	0.7	0.7	0.7	0.7
Latent Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	0.65	0.65	0.65	0.65

Figura 5.2.13: HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem.

### 5.3. Análise de Resultados

Analisando o primeiro ficheiro obtido com a simulação, .csv, o primeiro estudo realizado foi as horas de conforto e desconforto na habitação quando não existe nenhum sistema de climatização, recorrendo-se ao output “Zone Mean Air Temperature”. Sendo que apenas existe conforto e desconforto quando existe ocupação nas divisões recorreu-se ao output “Zone People Occupant Count” para verificar quando isso acontecia e considerou-se que o intervalo de conforto seria do 20-25°C.

Na seguinte figura é possível verificar as percentagens de conforto e desconforto:

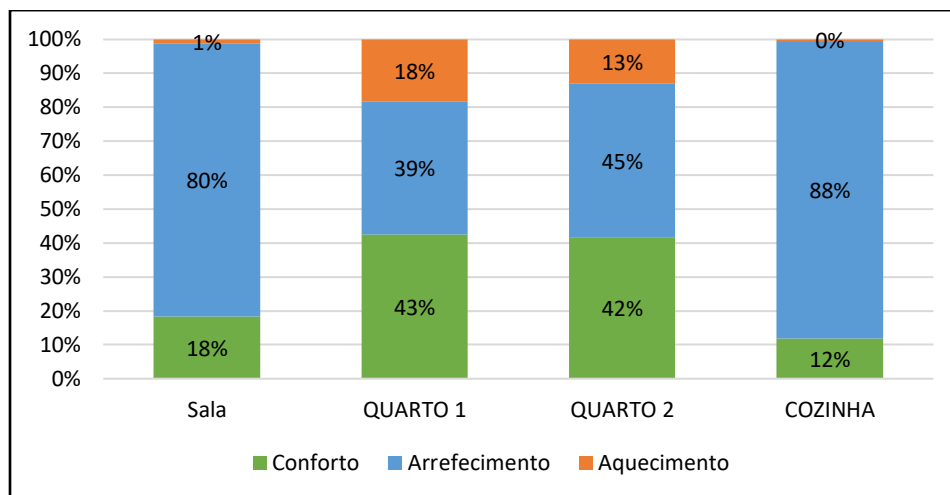


Figura 5.3.1: Percentagem de conforto sem climatização e das necessidades de arrefecimento e aquecimento de cada divisão.

Analisando a figura é possível verificar que o número de horas em desconforto, é relativamente elevado em cada uma das divisões, sobretudo devido à necessidade de arrefecimento das mesmas, sendo que em média a habitação apenas se encontra 30% do tempo em conforto. Para contrariar esse facto, foi necessário recorrer ao sistema de climatização referido anteriormente.

Para se ter uma ideia mais concreta das necessidades climatéricas criou-se gráfico representativo de uma semana de inverno - 29 de janeiro a 4 de fevereiro - e outra de verão, de 11 de julho a 17 de julho - como se encontra apresentado nas seguintes figuras:

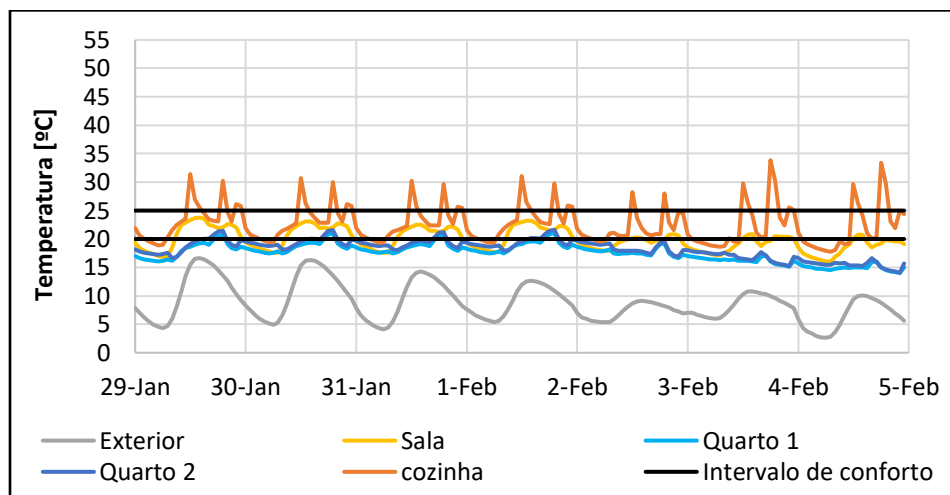


Figura 5.3.2: Temperatura média diária numa semana representativa de inverno.

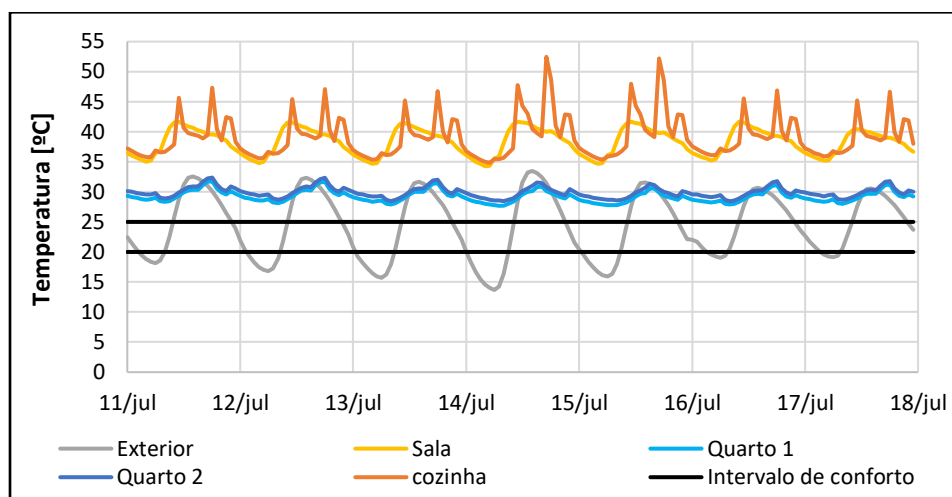


Figura 5.3.3: Temperatura média diária numa semana representativa de verão.

Na Figura 5.3.2 é possível observar que, os quartos raramente apresentam conforto térmico, estando sempre a uma temperatura mais baixa que a temperatura mínima de conforto, e que a sala se encontra no limite, estando metade do tempo dentro do intervalo de conforto e outra fora, e que a cozinha se encontra quase sempre dentro dos limites de conforto térmico saindo apenas quando certos equipamentos se encontram em funcionamento. Na Figura 5.3.3 é possível observar-se que nenhuma das divisões se encontram dentro do conforto térmico, estando sempre acima da temperatura máxima.

De modo a ser possível comparar os resultados com o método REH e analisar as necessidades energéticas do edifício, a nível da climatização, manteve-se o sistema IdealLoads sempre ligado, não considerando a ocupação dos espaços, como se encontra demonstrado na Figura 5.2.13. Para obter os respetivos valores recorreu-se aos outputs “Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy” e “Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy”. Com a introdução do sistema de climatização conseguiu-se eliminar o desconforto térmico durante os momentos de ocupação das divisões.

Nesta segunda simulação obteve-se uma energia térmica total de climatização de 3,47 MWh/ano, sendo que cerca de 91% da mesma corresponde à enérgica consumida para arrefecimento. Na seguinte figura é possível verificar a distribuição energética pelas divisões da habitação, verificando-se que as divisões que mais necessitam de climatização são as do primeiro andar, ou seja, a sala e a cozinha.

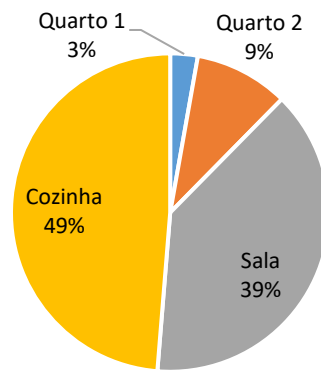


Figura 5.3.4: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação, segunda simulação.

Aplicando a fórmula 2.2, para o cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ), foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 5.3.1: Energia primária, segunda simulação.

	$N_{ic}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_{vc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	3,65	36,48
$N_{tc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	100,34	

Ao analisar os valores obtidos é possível verificar que o rácio,  $R_{NT}$ , entre o valor obtido,  $N_{tc}$ , e o de referência,  $N_t$ , é de 0,61 que, segundo a Tabela 2.6.1, corresponde a uma Classe Energética B.

De modo a torná-la mais realista, refez-se a simulação tendo em conta os horários de ocupação da habitação, obtendo-se os seguintes valores:

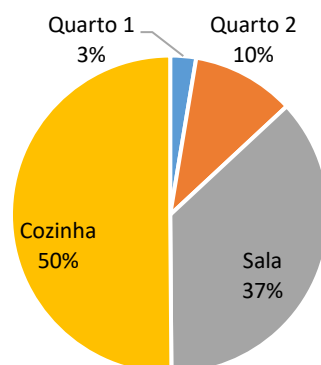


Figura 5.3.5: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação, terceira simulação.

Neste caso obteve-se uma energia térmica total de climatização mais reduzida, de 2,55 MWh/ano, sendo que cerca de 94% dessa energia corresponde à enérgica consumida para arrefecimento. Comparativamente a distribuição energética manteve-se relativamente igual à segunda simulação.

Tabela 5.3.2: Energia primária tendo em conta a ocupação, terceira simulação.

	<b>N<sub>ic</sub> [kWh/m<sup>2</sup>.ano]</b>	<b>N<sub>vc</sub> [kWh/m<sup>2</sup>.ano]</b>
<b>N [kWh/m<sup>2</sup>.ano]</b>	1,62	27,83
<b>N<sub>tc</sub> [kWh/m<sup>2</sup>.ano]</b>	73,63	

Quanto à energia primária, nesta terceira simulação, conseguiu-se uma redução na ordem dos 55% no aquecimento. Em relação ao arrefecimento obteve-se uma redução na ordem dos 24%. Com uma redução de 27%, nesta simulação obteve-se um valor de N<sub>t</sub> de 73,63 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Sendo que o Ideal Loads representa um sistema ideal, as necessidades energéticas calculadas não serão as reais. Para se obter esse valor há que considerar o COP e o EER do sistema de AVAC escolhido. Neste caso específico foi escolhida uma unidade exterior Multi-Split Invervet da Mitsubishi com as seguintes características:

Tabela 5.3.3: Características do sistema de AC. [20]

<b>Marca</b>		<b>Mitsubishi</b>
<b>Modelo</b>		Multi-Split Inverter MXZ-4E83VA
<b>Número de unidades interiores</b>		2-4
<b>Arrefecimento</b>	Capacidade Nominal (min-max) [kW]	8,3 (3,7-9,2)
	Consumo Nominal [kW]	2,44
	EER	3,4
<b>Aquecimento</b>	Capacidade Nominal (min-max) [kW]	9 (3,4-11,6)
	Consumo Nominal [kW]	2,00
	COP	4,65

Assim, tendo em conta os valores representados, representados em cima, foi possível obter uma noção mais real das necessidades energéticas da habitação.

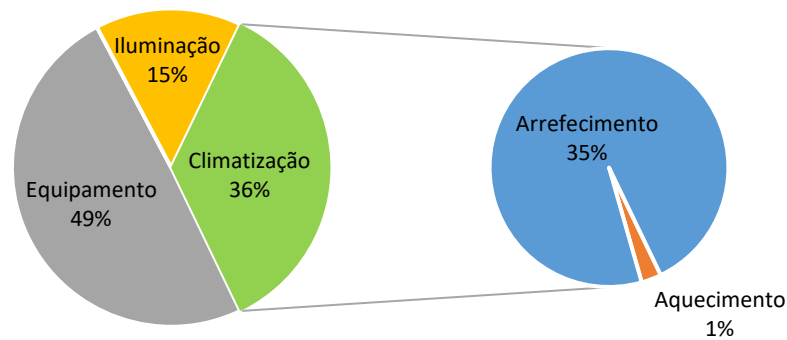


Figura 5.3.6: Distribuição da energia pelos diversos contribuidores, terceira simulação.

No total, o consumo anual da habitação encontra-se nos 4,40 MWh/ano, estando, desta forma, acima do valor de consumo médio para uma família de 3 pessoas - que ronda os 3,74 MWh/ano.[21] Como é possível observar na figura a climatização ocupa cerca de 1/3 parte do consumo anual, sendo o arrefecimento o principal contribuidor para esse facto. Como principais responsáveis pelo consumo elevado, encontramos os equipamentos que correspondem a quase 50% do mesmo.

## Capítulo 6 – Comparação de resultados – REH vs EnergyPlus

A comparação entre REH e EnergyPlus não é muito fácil, pois, ambos os métodos, são bastante diferentes relativamente à sua simplificação.

No caso do REH, que utiliza o método quase-estacionário, efetua um conjunto de simplificações que na realidade não se iram verificar. Neste método é considerada apenas uma zona térmica, assumindo sempre uma temperatura interior e exterior constante. Em relação às cargas climáticas estas são calculadas apenas uma vez para cada estação, aquecimento e arrefecimento, sendo feito o balanço dos ganhos e perdas térmicas da habitação. Essas simplificações acabam por levar a subestimar e a sobrestimar as necessidades energéticas no verão e no inverno, respetivamente.

No caso do EnergyPlus, sendo um método mais dinâmico, é possível criar diferentes zonas térmicas, onde serão definidos diferentes inputs, como a ocupação, os equipamentos eletrónicos e a iluminação das zonas térmicas. Neste método as necessidades energéticas de climatização serão calculadas de hora a hora, tendo em conta a variação dos ganhos solares e das temperaturas ao longo do dia. Por esse motivo é possível obter valores que se encontraram mais próximos da realidade.

Para a comparação dos valores obtidos para as necessidades de climatização utilizou-se a segunda simulação realizado no EnergyPlus, sendo possível verificar, ambos os métodos, na seguinte tabela:

Tabela 5.3.1: Comparação dos valores de energia primária obtidos através do EnergyPlus e do REH.

Método	$N_{ic}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_{vc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_{tc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
<b>REH</b>	33,85	14,13	103,65
<b>EnergyPlus</b>	3,65	36,48	100,34

Ao comparar os valores obtidos em ambos os métodos, a diferença é verificável, como seria esperado. Enquanto que com o método REH as necessidades de climatização no inverno são muito elevadas em comparação com o EnergyPlus, no verão verifica-se o oposto. Essa disparidade de valores deve-se às diferentes abordagens dos dois métodos.

Existem dois grandes problemas com o método REH, o facto dos ganhos internos serem considerados constantes, tomando sempre o valor de 4 W/m<sup>2</sup>, e o facto de, mesmo não existindo ocupação, ser considerado que é necessária climatização em todas as divisões, o que poderá levar ao sobredimensionamento das necessidades de climatização. Com a utilização do EnergyPlus esses problemas não iram existir devido à possibilidade de definir os ganhos internos e os horários de ocupação de cada divisão, fornecendo valores mais semelhantes à realidade.

## Capítulo 7 – Medidas de melhoria

Neste capítulo pretende-se mostrar quais as medidas mais adequadas para o melhoramento do desempenho térmico e energético da habitação, tanto a nível dos seus ganhos solares como no uso de energias renováveis.

### 7.1. Ventilação Natural

Uma das medidas consideradas foi a ventilação natural nas divisões sala, cozinha e quartos. Sendo as janelas existentes do tipo giratório, poderão ser abertas em 50%, permitindo reduzir os consumos de climatização da habitação.

De modo a aplicar a ventilação natural utilizou-se o ZoneVentilation:WindandStackOpenArea, definindo-se que as janelas apenas seriam abertas se existisse ocupação na habitação e se as temperaturas exteriores se encontrassem, de maio a setembro, entre os 15°C e os 25°C, e nos restantes meses entre os 20°C e os 40°C, evitando o sobrearrefecimento e/ou o sobreaquecimento. Foi ainda definido, através da criação de um Schedule, que as janelas só seriam abertas caso houvesse ocupação na habitação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Quarto1 NatVent	Quarto2 NatVent	Cozinha3 NatVent
Zone Name		0_Quarto 1	0_Quarto 2	1_Cozinha
Opening Area	m2	0.45	0.45	1.24
Opening Area Fraction Schedule Name		NatVent quarto	NatVent quarto	NatVent sala/cozinh
Opening Effectiveness	dimensionless	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Effective Angle	deg			
Height Difference	m	1.2	1.2	4.15
Discharge Coefficient for Opening		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Minimum Indoor Temperature	C			
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	C			
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	C			
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name		Janela_Temp_ext_r	Janela_Temp_ext_r	Janela_Temp_ext_r
Maximum Outdoor Temperature	C			
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name		Janela_Temp_ext_r	Janela_Temp_ext_r	Janela_Temp_ext_r
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40

Figura 7.1.1: ZoneVentilation:WindandStackOpenArea.

### 7.2. Estores

Outra medida considerada foi a utilização de estores- que a habitação já dispunha. Por esse motivo, foi estudada a sua correta utilização, com o intuito de reduzir as necessidades de arrefecimento da habitação.

Assim, foi necessário definir as características dos estores e em que condições deveriam ser fechados, estabelecendo-se uma temperatura exterior de 25°C e radiação solar superior a 250 W/m<sup>2</sup>, utilizando o WindowMaterial:Shade e o WindowProperty:ShadingControl. [22]



Field	Units	Obj1
Name		estores
Solar Transmittance	dimensionless	0.1
Solar Reflectance	dimensionless	0.8
Visible Transmittance	dimensionless	0.1
Visible Reflectance	dimensionless	0.8
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0.9
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0.01
Conductivity	W/m-K	0.1
Shade to Glass Distance	m	0.02
Top Opening Multiplier		0
Bottom Opening Multiplier		0
Left-Side Opening Multiplier		
Right-Side Opening Multiplier		
Airflow Permeability	dimensionless	0.01

Figura 7.2.1: WindowMaterial:Shade.

Field	Units	Obj1
Name		sombra
Shading Type		ExteriorShade
Construction with Shading Name		
Shading Control Type		OnIfHighZoneAirTempAndHighSolarOnWindow
Schedule Name		Always On
Setpoint	W/m2, W or deg	25
Shading Control Is Scheduled		Yes
Glare Control Is Active		No
Shading Device Material Name		estores
Type of Slat Angle Control for Blinds		FixedSlatAngle
Slat Angle Schedule Name		
Setpoint 2	W/m2 or deg C	250

Figura 7.2.2: WindowProperty:ShadingControl.

### 7.3. Palas nas janelas

Ao verificar que o maior problema desta habitação se relaciona com as necessidades de arrefecimento das divisões 1º andar, sala e cozinha, considerou-se a colocação de palas nas janelas como outra medida a implementar de forma a reduzir os ganhos solares. Uma vez que na sala existe uma grande área envidraçada a Este, para o qual não se registam grandes obstruções, os ganhos solares, no verão, serão muito elevados, o que levará a um aumento considerável das temperaturas no interior. Uma vez que não existe divisão física entre a sala e a cozinha, esse aumento de temperaturas fará se sentir por todo o 1º andar.

Após testar diversos tamanhos para as palas nas janelas determinou-se que as mais eficientes teriam como medida 0,5 metros, nas janelas a Sul e 1 metro nas a Este, como é possível verificar na seguinte figura:

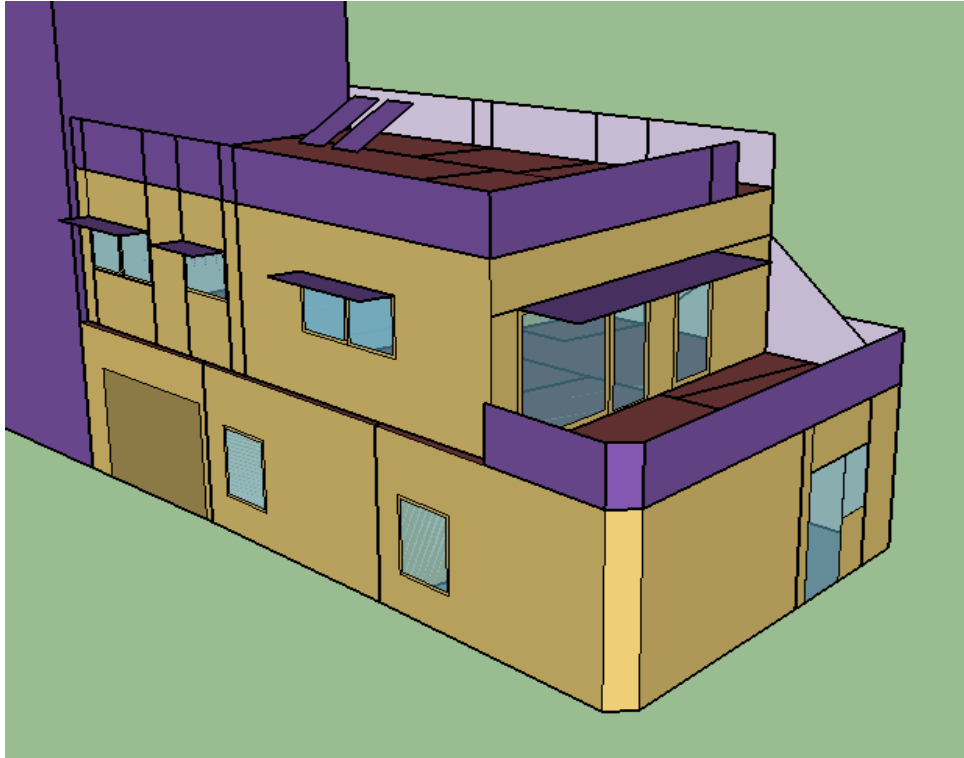


Figura 7.3.1: Representação das palas introduzidas nas janelas.

## 7.4. Painéis Fotovoltaicos

Para a instalação de painéis fotovoltaicos procedeu-se à análise do espaço disponível para a sua instalação. Considerando as características dos painéis escolhidos, Tabela 7.4.1, verificou-se que seria possível instalar três fileiras, duas com 8 painéis e uma com 6, com uma inclinação ótima de 36° viradas para sul, como é possível observar na Figura 7.4.1.

Tabela 7.4.1: Características dos painéis fotovoltaicos. [23]

Marca	Panasonic
Modelo	N325K Photovoltaic Module HIT BLACK
Preço [€/módulo]	250
Área do módulo [m <sup>2</sup> ]	1,67
Número de células	96
Potencia máxima [Wp]	325
Corrente em curto-circuito [A]	5,98
Tensão em circuito aberto [V]	70,9
Corrente do módulo na potência máxima [A]	5.5
Tensão do módulo na potência máxima [V]	59,2

<b>Coefficiente de temperatura da corrente em curto-circuito [A/K]</b>	0,0327
<b>Coefficiente de temperatura da tensão em circuito aberto [V/K]</b>	-0,17
<b>Eficiência da célula</b>	21,8%
<b>Eficiência do módulo</b>	19,4%

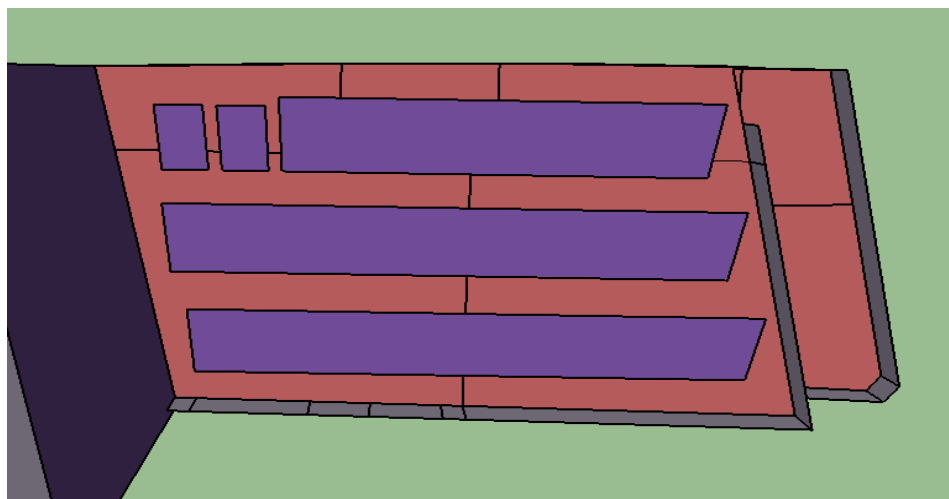


Figura 7.4.1: Representação dos painéis fotovoltaicos introduzidos no terraço.

De modo a conhecer os valores obtidos com a instalação dos painéis utilizou-se:

1. o Generator:Photovoltaic, Figura 7.4.2, onde foram descritas as três strings em paralelo como apresentado na figura anterior.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		PV1	PV2	PV3
Surface Name		PV1	PV2	PV3
Photovoltaic Performance Object Type		PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform
Module Performance Name		PV_diode	PV_diode	PV_diode
Heat Transfer Integration Mode		Decoupled	Decoupled	Decoupled
Number of Series Strings in Parallel	dimensionless	1	1	1
Number of Modules in Series	dimensionless	8	8	6

Figura 7.4.2: Generator:Photovoltaic.

2. o PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode, Figura 7.4.3, onde são definidas as características de desempenho do módulo fotovoltaico consoante a sua ficha técnica.

Field	Units	Obj1
Name		PV_diode
Cell type		CrystallineSilicon
Number of Cells in Series	dimensionless	96
Active Area	m2	1.67
Transmittance Absorptance Product	dimensionless	0.95
Semiconductor Bandgap	eV	1.12
Shunt Resistance	ohms	1000000
Short Circuit Current	A	5.94
Open Circuit Voltage	V	70.9
Reference Temperature	C	25
Reference Insolation	W/m2	1000
Module Current at Maximum Power	A	5.5
Module Voltage at Maximum Power	V	59.2
Temperature Coefficient of Short Circuit Current	A/K	0.0327
Temperature Coefficient of Open Circuit Voltage	V/K	-0.17
Nominal Operating Cell Temperature Test Ambient Tem	C	20
Nominal Operating Cell Temperature Test Cell Temperal	C	40
Nominal Operating Cell Temperature Test Insolation	W/m2	800
Module Heat Loss Coefficient	W/m2-K	30
Total Heat Capacity	J/m2-K	50000

Figura 7.4.3: PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode.

3. o ElectricLoadCenter:Generators, Figura 7.4.4, onde é definido o tipo e a potencia nominal do gerador presente na simulação.

Field	Units	Obj1
Name		Electric_generator
Generator 1 Name		PV1
Generator 1 Object Type		Generator:Photovolt
Generator 1 Rated Electric Power Output	W	2600
Generator 1 Availability Schedule Name		Always On
Generator 1 Rated Thermal to Electrical Power Ratio		
Generator 2 Name		PV2
Generator 2 Object Type		Generator:Photovolt
Generator 2 Rated Electric Power Output	W	2600
Generator 2 Availability Schedule Name		Always On
Generator 2 Rated Thermal to Electrical Power Ratio		
Generator 3 Name		PV3
Generator 3 Object Type		Generator:Photovolt
Generator 3 Rated Electric Power Output	W	1950
Generator 3 Availability Schedule Name		Always On

Figura 7.4.4: ElectricLoadCenter:Generators.

4. o ElectricLoadCenter:Inverter:Simple, Figura 7.4.5, onde é definido o inversor de energia elétrica para converter de corrente continua (DC) para corrente alternada (AC).

Field	Units	Obj1
Name		SimpleInversor
Availability Schedule Name		Always On
Zone Name		
Radiative Fraction		0
Inverter Efficiency		0.925

Figura 7.4.5: ElectricLoadCenter:Inverter:Simple.

5. o ElectricLoadCenter:Distribution, Figura 7.4.6, onde são referidos todos os sistemas disponíveis.

Field	Units	Obj1
Name		Distribution
Generator List Name		Electric_generator
Generator Operation Scheme Type		Baseload
Generator Demand Limit Scheme Purchased Electric D <sub>1</sub> W		0
Generator Track Schedule Name Scheme Schedule N <sub>1</sub>		
Generator Track Meter Scheme Meter Name		
Electrical Buss Type		DirectCurrentWithInverter
Inverter Name		SimpleInversor

Figura 7.4.6: ElectricLoadCenter:Distribution.

Após todas as definições realizadas recorreu-se ao Facility Total Purchased Electric Power, ao Inverter AC Output Electric Power, ao Electric Equipment Electric Power e ao Facility Total Surplus Electric Power para obter valores.

De modo a ter uma comparação para os valores obtidos com o EnergyPlus utilizou-se o PVsyst. Neste programa foi necessário definir o ficheiro meteorológico de Setúbal, a orientação e inclinação ótima dos módulos Fotovoltaicos e ainda as suas características, sendo estas iguais às anteriormente referidas. Para além disso foi necessário definir as obstruções existentes que levarão ao sombreamento dos painéis instalados, sendo possível verificar a sua representação na seguinte figura:

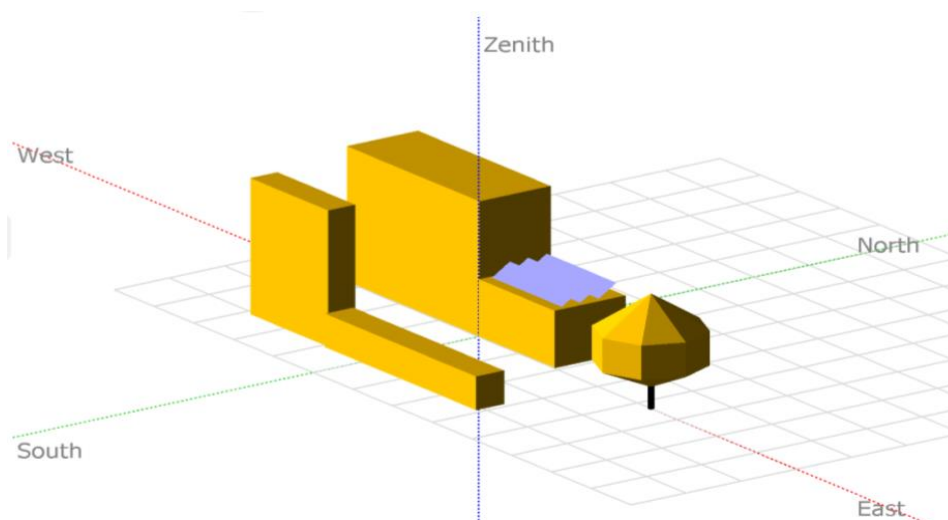


Figura 7.4.7: Representação das obstruções existentes no PVsyst.

## 7.5. Análise de Resultados

De modo a comparar as medidas implementadas com os resultados obtidos na segunda simulação e após a análise dos seus efeitos a nível da climatização, foi desenvolvida a seguinte tabela:

Tabela 7.5.1: Efeitos das medidas desenvolvidas.

Medidas	N <sub>ic</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	N <sub>vc</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	N <sub>tc</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Redução
<b>Segunda simulação</b>	3,65	38,48	100,34	-
<b>Terceira simulação</b>	1,62	27,83	73,63	27%
<b>Ventilação Natural</b>	3,56	18,09	54,12	46%
<b>Estores</b>	1,61	17,40	47,51	53%
<b>Palas</b>	1,77	20,45	55,56	45%
<b>Todas as medidas</b>	4.67	10.87	38.83	61%

Observando a tabela é possível verificar, que todas as medidas obtiveram valores bastante positivos com uma redução de quase 50% do consumo a nível da climatização dos espaços.

A correta utilização dos estores foi a que mais influenciou as necessidades de climatização, evitando, de modo positivo, ganhos solares indesejados. Com a implementação destas medidas foi possível verificar uma redução significativa das necessidades de climatização. Contudo, também se registou um aumento a nível do aquecimento da habitação.

Na seguinte figura é possível verificar as diferenças em relação à Figura 5.3.1 conseguidas com a aplicação das medidas de melhoria.

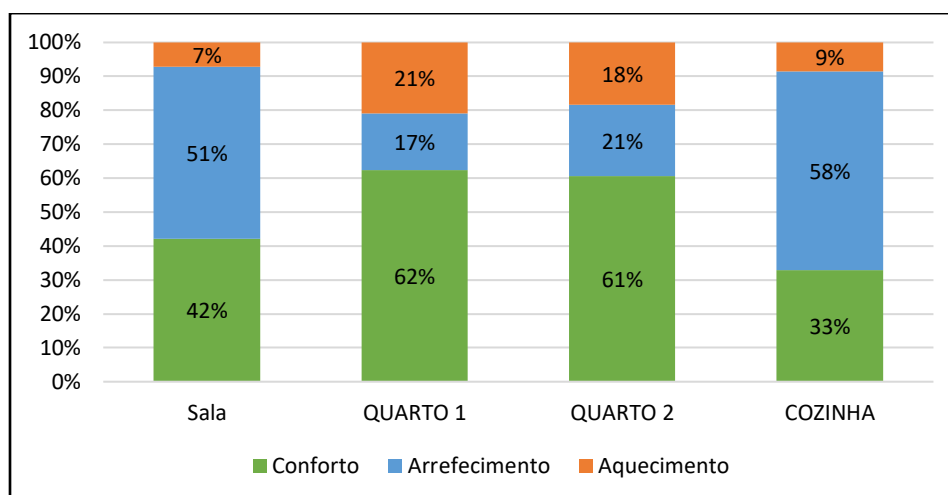


Figura 7.5.1: Percentagem de conforto sem climatização e das necessidades de arrefecimento e aquecimento de cada divisão com a aplicação das medidas de melhoria.

Em relação à energia térmica total de climatização, registou-se um valor de 1,34 MWh/ano, sendo que, cerca de 70% desse registo corresponde à enérgica consumida para arrefecimento. Na seguinte figura é possível verificar a nova distribuição energética pelas divisões da habitação, com a cozinha a representar 57% desse consumo:

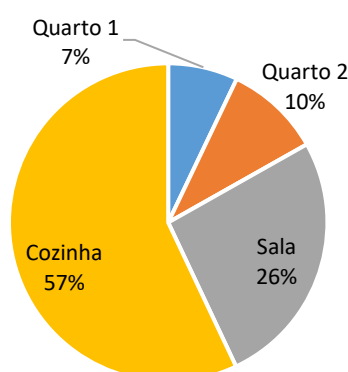


Figura 7.5.2: Distribuição da energia térmica de climatização pelas divisões da habitação com a aplicação das medidas de melhoria.

No total, o consumo anual da habitação passa para os 3,52 MWh/ano, encontrando-se abaixo do valor de consumo médio para uma família de 3 pessoas. Após a aplicação das medidas, os equipamentos elétricos iram representar cerca de 60% do consumo total, apresentando a seguinte distribuição.

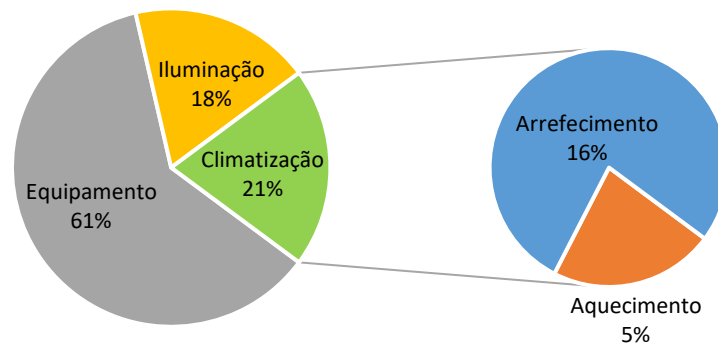


Figura 7.5.3: Distribuição da energia pelos diversos contribuidores após a aplicação das medidas de melhoria.

Por último, com a aplicação dos painéis fotovoltaicos no EnergyPlus foi possível obter uma produção de 8,39MWh/ano. Analisando o consumo com a produção mensal é possível verificar que em termos gerais irá existir mais produção que consumo, como é possível verificar na seguinte figura:

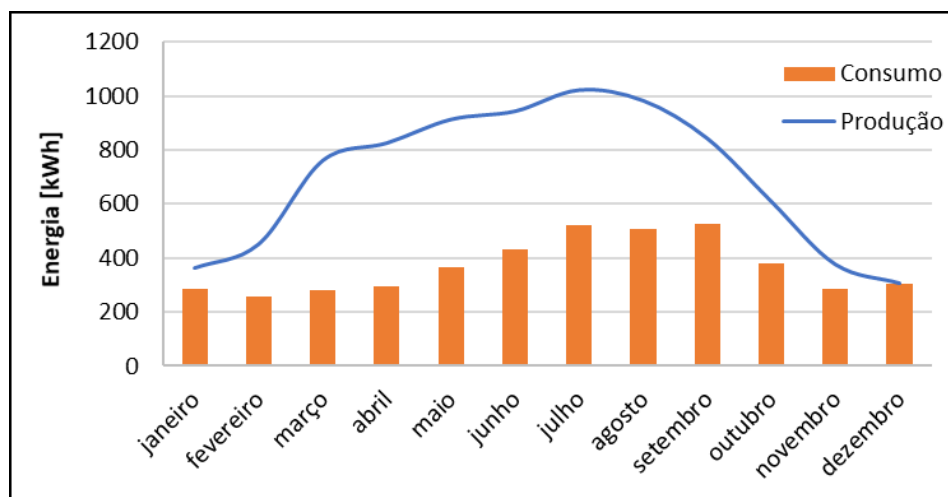


Figura 7.5.4: Consumo vs. Produção, EnergyPlus.

Como referido anteriormente, de modo a comparar os valores utilizou-se o PVsyst onde foi obtido um valor de 8,40MWh/ano não existindo grande discrepância entre os dois valores obtido. Na Figura 7.5.5 é possível verificar as semelhanças de produção dos dois métodos utilizados.



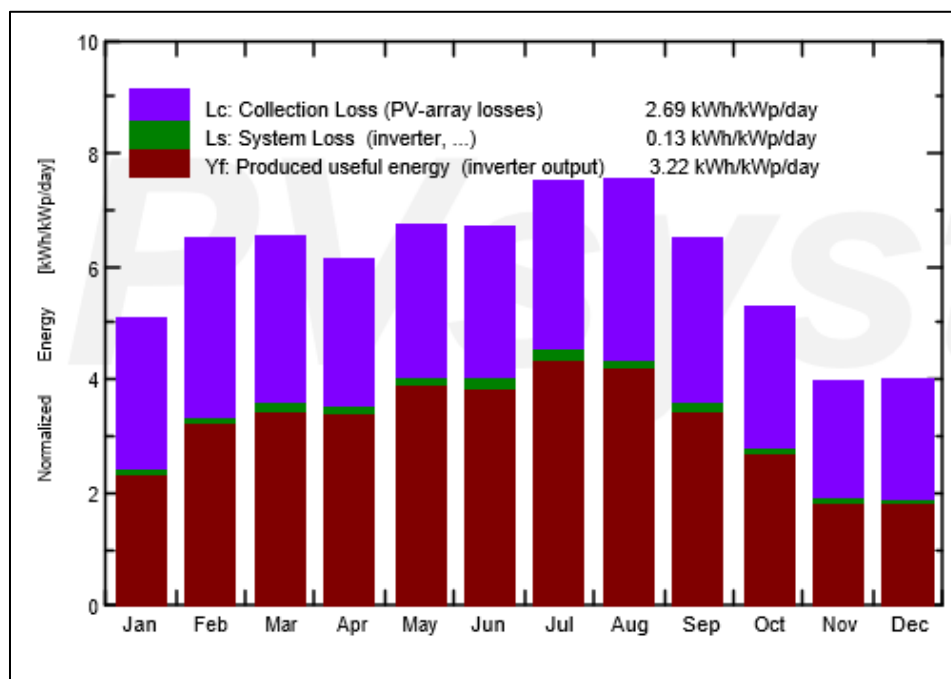


Figura 7.5.5: Produção dos painéis fotovoltaicos, PVsyst.

No REH, apenas foi possível implementar duas das medidas apresentadas, as palas nas janelas e os painéis fotovoltaicos.

Para a implementação das palas foi necessário descobrir as obstruções por ela criadas. As obstruções palas horizontais são obtidas a partir do ângulo entre a pala e o ponto médio do vão envidraçado, como se pode verificar na seguinte imagem:

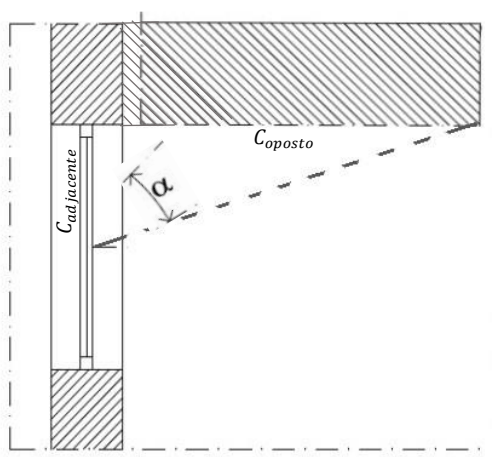


Figura 7.5.6: Cálculo do ângulo correspondente às obstruções palas horizontais. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013.

No caso o cateto oposto,  $C_{oposto}$ , corresponde ao comprimento da pala e o cateto adjacente,  $C_{adjacente}$ , a metade da altura da janela, sendo esses valores aplicados à seguinte equação:

$$Obstrução\ pala\ horizontal = \tan^{-1} \left( \frac{C_{oposto}}{C_{adjacente}} \right) \quad (4.2)$$

Como todos os valores vão ser diferentes entre cada vão envidraçado será necessário fazer o estudo para cada caso.

Para implementar os painéis fotovoltaicos foi necessário perceber qual a parcela de energia produzida que irá corresponder ao aquecimento e ao arrefecimento. Para isso recorreu-se aos resultados de energia fotovoltaica produzida obtidos no EnergyPlus.

Sendo que, nem sempre quando à necessidade de climatização à produção fotovoltaica, ou, esta não é suficiente para suprimir essas necessidades, realizou-se uma comparação horaria. Comparando os valores obtidos com os totais foi possível perceber qual a parcela que irá corresponder a cada um. Neste caso, a parcela do aquecimento irá tomar o valor 9%, e a parcela do arrefecimento irá tomar o valor de 22%.

Na seguinte tabela é possível verificar os valores obtidos após a aplicação da contribuição energética nos dois métodos:

Tabela 7.5.2: Comparação dos valores de energia primária obtidos através do EnergyPlus e do REH, após aplicar a contribuição energética.

Método	N <sub>ic</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	N <sub>ve</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	N <sub>te</sub> [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
<b>REH</b>	35,54	12,22	24,92
<b>EnergyPlus</b>	4,77	10,44	18,07

Como é possível verificar a contribuição energética renovável faz com que exista uma diminuição das necessidades energéticas nominais anuais de energia primária em mais ou menos de 80% em ambos os métodos, existindo, entre eles, uma diferença de 27%. Ao analisar os valores obtidos relativos aos indicadores energéticos verificou-se que no método REH foi obtido um novo rácio R<sub>NT</sub> de 0,15, que, segundo a Tabela 2.6.1, corresponde a uma Classe Energética A+, e que, no método EnergyPlus, o novo rácio obtido foi de 0,10, que também irá corresponder a uma Classe Energética A+.

Contudo, apesar da elevada produção diurna, no período da noite não existirá produção fotovoltaica, logo, a habitação irá necessitar importá-la da rede nacional ou de instalar baterias para armazenamento da energia excedente produzida.

De modo a realizar a análise de qual a melhor opção escolheu-se as seguintes baterias:

Tabela 7.5.3: Características de uma bateria.

<b>Marca</b>	<b>Pylontech</b>
<b>Modelo</b>	US2000 Plus
<b>Preço [€]</b>	899
<b>Tensão Nominal [V]</b>	48
<b>Capacidade [kWh]</b>	2,4
<b>Capacidade utilizável [kWh]</b>	2,2
<b>DOD [%]</b>	90
<b>Dimensões [mm]</b>	442*410*89
<b>Tempo de vida [anos]</b>	+15
<b>Ciclos</b>	>6000, 25°C

Com os valores de produção registados nos horários dos painéis fotovoltaicos- obtidos a partir do EnergyPlus- foi possível realizar um estudo acerca do comportamento das baterias, tendo em conta o nível de descarga máximo das mesmas, de forma a assegurar a sua saúde, e que apenas a energia que não seja logo consumida irá ser armazenada. Como verificado na Figura 7.5.4, dezembro é pior mês a nível de produção, por esse motivo, é esperável que se verifique o maior período de descarga, sendo necessário dimensionar o sistema para essa altura.

Após a realização do estudo foi possível verificar que seriam necessárias 16 baterias, com uma capacidade total de 35,20 kWh, de modo a ser possível uma autonomia total. Na seguinte figura é possível verificar o comportamento das baterias em relação ao consumo e à produção ao longo de dois anos:

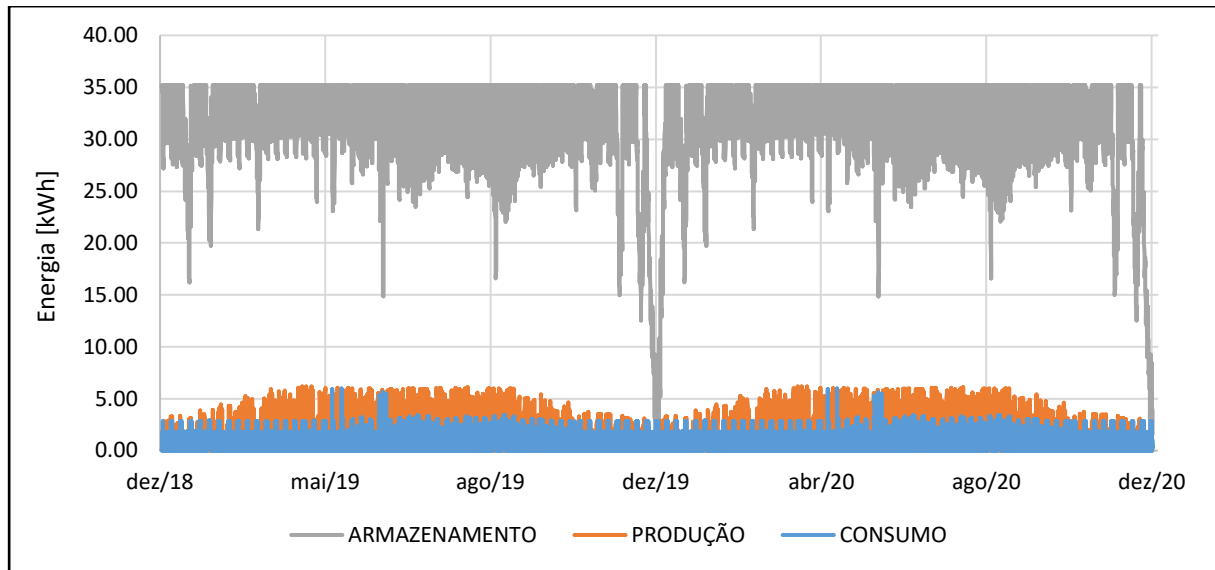


Figura 7.5.7: Comportamento das baterias em relação ao consumo e à produção da habitação ao longo de dois anos.

Na figura é possível observar que, no final do mês de dezembro, devido à baixa produção fotovoltaica, as baterias teriam de suportar grande parte dos consumos da habitação. A partir do dia 3 de janeiro, a produção volta a permitir que as baterias sejam totalmente carregadas. Nos restantes meses as baterias nem chegam a descarregar 1/3 da sua capacidade.

## Capítulo 8 - Análise económica

Tendo já realizado os dimensionamentos anteriormente, o objetivo neste capítulo será perceber qual o cenário melhor, entre os três analisados, para a habitação, em 25 anos.

No Primeiro cenário analisado considerou-se que o sistema energético funcionaria ligado à rede elétrica nacional durante 25 anos. Uma vez que a habitação já se encontra ligada à rede, este cenário irá servir de referência, de modo a perceber se a implementação dos outros cenários seria vantajoso.

No Segundo cenário estudado, foi considerada a implementação dos painéis fotovoltaicos em autoconsumo, com venda do excedente à rede nacional, e compra da energia em falta.

E, finalmente, no Terceiro cenário considerou-se a instalação dos painéis e das baterias de maneira a tornar a casa autossuficiente. Neste cenário foi necessário ter em conta que o tempo de vida útil das baterias, sendo necessária a sua substituição ao fim de aproximadamente 15 anos.

### 8.1. Primeiro cenário

De modo a ser possível analisar este cenário é necessário conhecer os preços praticados atualmente na rede nacional. Na seguinte tabela é possível verificar os custos associados à aquisição de energia em três empresas diferentes:

Tabela 8.1.1: Custos de aquisição de energia na rede nacional.

Empresa	Gold Energy	EDP	Endesa
Energia [€/kWh]	0,1574	0.1493	0,150052
Contrato [€/kWh]	0,189	0,2187	0,1885
Audiovisual [€/mês]	2,85		
DGED [€/mês]	0,7		
Custo 25 anos [€]	16 428	16 014	15 804
Custo [€/mês]	54,76	53,38	52,68

Com o consumo obtido no EnergyPlus, de 3,52 kWh/ano, foi possível avaliar o custo total ao fim de 25 anos para as três situações, rondando os 53€ por mês. De modo a ser vantajoso a implementação de um dos outros métodos o valor obtido terá de ser mais reduzido.

## 8.2. Segundo cenário

Neste segundo cenário, autoconsumo com venda, é necessário ter em conta que, tem de se registar a Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) na DGEG, tem de existir um contador bidirecional e um contrato de venda de energia. [24]

Para além dos preços de aquisição de energia, referidos anteriormente, foi necessário descobrir os preços de venda da energia fotovoltaica excedente. Os preços de venda encontram-se disponíveis no operador de mercado elétrico (OMIE), sendo atualizados diariamente. Ao longo dos anos o preço tem vindo a baixas e atualmente o valor ronda os 0,04€/kWh.

Tendo em conta que se encontra em vigor o Programa de Apoio a Edifícios mais Sustentáveis, que visa financiar projetos deste tipo, é possível que se consiga obter uma comparticipação de 75%, até um limite máximo de 2500€ nos painéis fotovoltaicos.

Na seguinte tabela é possível verificar os resultados obtidos, considerando o preço de cada painel, apresentado na Tabela 7.4.1, e que se instalaram os 22 painéis:

Tabela 8.2.1: Custos de aquisição de energia com autoconsumo e venda, 22 painéis.

		Rede	Painéis Fotovoltaicos	
		Compra	Venda	Consumo
<b>Custo de aquisição [€]</b>	Sem comparticipação	-	5 500	
	Com comparticipação	-	3 000	
<b>Energia [kWh]</b>		2 560	7 430	961
<b>Custo [€/ano]</b>		497	-	-
<b>Ganho [€/ano]</b>		-	297	-
<b>Custo 25 anos [€]</b>	Sem comparticipação	10 497		
	Com comparticipação	7 997		
<b>Custo [€/mês]</b>	Sem comparticipação	34,99		
	Com comparticipação	26,66		

De modo a obter um valor mais aproximado do consumo igual à produção bastaria colocar 10 painéis fotovoltaicos e, nesse caso, os valores passariam a ser:

Tabela 8.2.2: Custos de aquisição de energia com autoconsumo e venda, 10 painéis.

		Rede	Painéis Fotovoltaicos	
		Compra	Venda	Consumo
<b>Custo de aquisição [€]</b>	Sem participação	-	2 500	
	Com participação		625	
<b>Energia [kWh]</b>		2 734	3 047	787
<b>Custo [€/ano]</b>		533	-	-
<b>Ganhos [€/ano]</b>		-	122	-
<b>Custo 25 anos [€]</b>	Sem participação	12 784		
	Com participação	10 909		
<b>Custo [€/mês]</b>	Sem participação	42,61		
	Com participação	36,36		

Comparando os resultados obtidos com o primeiro cenário é possível verificar que, caso se instale os 22 painéis fotovoltaicos, irá existir uma redução de 34% sem participação e de 50% com participação. No caso de se instalar os 10 painéis, essa redução é mais pequena, sendo apenas de 20% sem participação e de 32% com participação.

### 8.3. Terceiro cenário

Por último, analisou-se a instalação das baterias com os painéis fotovoltaicos que irá permitir à habitação tornar-se autónoma. Na seguinte tabela é possível verificar os valores obtidos, considerando a instalação dos 22 painéis fotovoltaicos e das 16 baterias, tendo em conta que as baterias terão de ser substituídas por volta dos 15 anos:

Tabela 8.3.1: Custos de aquisição de energia com a instalação dos painéis e das baterias.

		Painéis Fotovoltaicos	Baterias	Rede
				Venda
<b>Custo de aquisição [€]</b>	Sem participação	5 500	28 768	-
	Com participação	3 000	-	-
<b>Ganhos [€/ano]</b>		-	-	196

<b>Custo 25 anos [€]</b>	Sem participação	29 365
	Com participação	26 865
<b>Custo [€/mês]</b>	Sem participação	98
	Com participação	89,55

No caso de se instalar apenas 10 painéis fotovoltaicos, o número de baterias, de modo a adquirir autonomia, seria astronómico, por volta das 150 baterias, que levaria a um custo impensável de aproximadamente 900€/mês.

Comparando este cenário com o primeiro, é possível verificar que irá existir um aumento de 85% sem participação e de 69% com participação. Uma vez que esta habitação já se encontra ligada à rede elétrica nacional, e não existe esse custo, não se justifica a instalação de baterias.



## Capítulo 9 – Conclusão

Esta dissertação teve, como principal objetivo, a avaliação do desempenho térmico de uma habitação localizada em Setúbal, de modo a melhorar o seu desempenho térmico. Para esse efeito, foram estudados dois métodos de simulação diferentes, o REH e o EnergyPlus.

Ao observar a análise realizada no método REH é possível ver que as temperaturas médias exteriores, no verão, se encontram sobrestimadas, estando acima das registadas com o PVGIS, e no inverno se encontram subestimadas. Ao analisar os valores obtidos, na primeira simulação realizada no programa REH, é possível verificar que todos os indicadores energético se encontram abaixo dos valores de referência, tendo-se obtido um rácio  $R_{NT}$  de 0,63, que corresponde a uma Classe Energética B. Aplicando as medidas estudadas, o sombreamento, criado pelas palas, e a contribuição renovável, causada pelos painéis fotovoltaicos, os valores diminuem aproximadamente 76%, obtendo um novo rácio de 0,15, que irá corresponder a uma Classe Energética A+.

Com a análise da simulação dinâmica, EnergyPlus, foi possível prever, o comportamento térmico da habitação e as necessidades energéticas dos sistemas presentes. Ao analisar as temperaturas interiores, de cada divisão, foi possível verificar que, quanto mais exposta a divisão se encontra à radiação solar, no caso a sala e a cozinha, maior é a temperatura a que se encontra. Relativamente aos valores obtidos, na segunda simulação realizada no programa EnergyPlus, é possível verificar um rácio  $R_{NT}$  de 0,61, que corresponde a uma Classe Energética B. Comparando todas as medidas avaliadas, a utilização correta dos estores, representa a uma maior redução no consumo anual de energia elétrica, com uma redução de 53% nas necessidades nominais anuais de energia primária. Com medida será possível uma redução no custo da energia e um maior conforto para os ocupantes da habitação. Com a aplicação de todas as medidas em simultâneo, visto que nenhuma se anula, é possível obter uma redução de 61% necessidades nominais anuais de energia primária, representando uma redução da energia final de 1,37MWh/ano. Conseguindo um novo rácio de 0,10, que irá corresponder a uma Classe Energética A+.

Face ao apresentado na análise económica, o cenário mais vantajoso será o segundo, o autoconsumo com venda, composto por 22 painéis fotovoltaicos (7,15kWh). Em comparação com o cenário base, o primeiro, ligado apenas à rede elétrica nacional durante 25 anos, no segundo cenário é possível ter uma redução do custo mensal entre os 34 e os 50%, dependendo da aprovação do projeto no Programa de Apoio a Edifícios mais Sustentáveis.

Ao comparar os dois métodos em estudo é possível verificar que existem diferenças nas necessidades de climatização. Essa disparidade de valores deve-se às diferentes abordagens dos dois métodos. Existem dois grandes problemas com o método REH, que poderão levar ao sobredimensionamento e subdimensionamento das necessidades de climatização. Com a utilização do EnergyPlus esses problemas são resolvidos, fornecendo valores mais semelhantes à realidade.

Quando as medidas estiverem implementadas deveria ser realizada uma comparação com os valores obtidos nos dois métodos de simulação, de modo a comprovar qual o mais fiável, a simulação dinâmica ou a simulação que se baseia na legislação portuguesa. Sendo que os edifícios são os grandes consumidores de energia deveria ser uma prioridade o seu estudo de forma a reduzir esse contributo.

## Referências Bibliográficas

- [1] "Eficiência Energética nos Edifícios da Administração Pública Central". DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. [Online]. Disponível: <https://poseur.portugal2020.pt/media/39465/apresentação-eng-joão-bernardo.pdf> [Acedido: 14/02/2019]
- [2] "Estatísticas da Construção e Habitação-2017". DGEG- Direção Geral de Energia e Geologia. [Online]. Disponível: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107827&selTab=tab0&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107827&selTab=tab0&xlang=pt) [Acedido: 14/02/2019]
- [3] "Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico-2010". DGEG- Direção Geral de Energia e Geologia. [Online]. Disponível: [https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=127228533&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=127228533&att_display=n&att_download=y) [Acedido: 14/02/2019]
- [4] "Energia Em Portugal- 2016". DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia. [Online]. Disponível: <http://www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=15139> [Acedido: 14/02/2019]
- [5] Martins, P.M.P. (2012). Eficiência Energética em Edifícios de Serviços. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [6] "Certificação energética de edifícios em Portugal – Impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional". Certificação Energética e Ar Interior– Edifícios. [Online] Disponível: <https://slideplayer.com.br/slide/1240829/#.XFsgElom38E.gmail> [Acedido: 14/02/2019]
- [7] "Novo Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE)". ADENE. [Online]. Disponível: <https://docplayer.com.br/13540274-Novo-sistema-de-certificacao-energetica-de-edificios-sce.html> [Acedido: 14/02/2019]
- [8] "EU Energy Performance of Buildings Directive Implementation in Portugal- The Past, the Present and the Future". ADENE. [Online]. Disponível: <http://www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=14720> [Acedido: 14/02/2019]
- [9] "Estratégia Nacional para a Energia 2020- ENE 2020". ADENE. [Online]. Disponível: <https://pt.slideshare.net/construcaosustentavel/02-nuno-batista-adene> [Acedido: 14/02/2019]
- [10] Diário da República 2ª série - N.º178 - 11 de setembro de 2020. Despacho n.º 8745/2020
- [11] "Estatística do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios – Estatísticas gerais de certificação energética dos edifícios disponíveis para consulta". Certificar é Valorizar - Certificação Energética dos Edifícios. [Online]. Disponível: <https://www.sce.pt/estatisticas/> [Acedido: 14/02/2019]
- [12] Diário da República 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013. Despacho n.º 15793-I/2013.
- [13] Engineering Reference – EnergyPlus Version 8.5. Documentation. U.S. Department of Energy. 2016.
- [14] Albuquerque, D.P.P. (2014). Simulação Computacional de um Sistema de Ventilação Natural para uma Torre de Escritórios em Lisboa. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de ciências – Universidade de Lisboa.

- [15] dos Santos, C.A.P e Matias, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmico de elementos da envolvente dos edifícios. 2ª edição. LNEG. Lisboa
- [16] Neila González, F. Javier. Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible. Madrid Editorial Munilla-L. 2004.
- [17] Input Output Referencia - EnergyPlus Version 8.7. Documentation. U.S. Department of Energy. 2016.
- [18] House Plans Helper, "Lighting Calculation". [Online]. Disponível: <https://www.houseplanshelper.com/lighting-calculation.html> [Acedido: 08/02/2020]
- [19] Thermboil 200 E. Domestic Hot Water. Energy Panel. Catalogue.
- [20] Multi-Split Inverter MXZ-4E83VA. Mitsubishi. Catalogue.
- [21] PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Consumo de energia eléctrica per capita: total e por tipo de consumo. [Online]. Disponível: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+eléctrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230-10020> [Acedido: 10/10/2020]
- [22] Machete, R.F. (2016). Utilização de Modelos SIG-3D na Determinação da Radiação Solar Incidente nos Edifícios. Influência do Contexto Urbano. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura. Técnico Lisboa.
- [23] N325K Photovoltaic Module Hit Black. Panasonic. Catalogue.
- [24] Diário da República, 1ª série. - Nº16 - 23 de janeiro de 2015. Portaria nº 14/2015.